



UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727-15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil

REVISIÓN Y PROPUESTA DE LA SUPERESTRUCTURA DE UN EDIFICIO DE ACERO DE 4 NIVELES PARA USO DE OFICINAS EN URUAPAN, MICH.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Mayra Patricia Ponce Medina

Asesor: M.I. Luis Arturo Muñoz Galindo

Uruapan, Michoacán, 27 de mayo de 2019.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A mis amados padres, Patricia Medina Campos y José Guadalupe Ponce Ortiz, quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir una de mis grandes metas en la vida, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía así como de no temer las adversidades.

A mis hermanos José Salvador Ponce Medina y Alonso Antonio Ponce Medina, por su cariño y apoyo incondicional, como a toda mi familia y verdaderos amigos por creer siempre en mí.

Agradezco a mi compañero Marco Antonio Medina Ayala por apoyarme en dicho trabajo de investigación, así como por su leal y honesta amistad durante varios años.

A la Ing. Sandra Natalia Parra Macías y al Lic. Juan Luis Moreno Hurtado, quienes han sido parte importante en mi vida no sólo por compartir sus conocimientos conmigo como estudiante, sino por enseñarme a ser una persona de calidad humana.

Gracias a mi asesor, M.I. Luis Arturo Muñoz Galindo, por compartir sus conocimientos y experiencias, siendo un gran guía para lograr dicho trabajo de investigación, así como un gran maestro que nos apoyó durante toda la carrera.

Mi profundo agradecimiento al Ing. Anastacio Blanco Simiano, por ser un gran director y maestro, por compartir no solo su conocimiento en el área, sino su gran sabiduría ante las situaciones de la vida.

A todos los maestros que ayudaron a mi formación educativa para lograr ejercer la carrera de ingeniería civil.

Por último, pero igualmente importantes a mis amigos de la carrera, por apoyarme siempre, así como a Dios, que me permitió llegar hasta aquí, nunca abandonarme y darme la fortaleza de luchar día con día.

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes	1
Planteamiento del problema.	3
Objetivo.	5
Pregunta de investigación	6
Justificación	6
Marco de referencia	7

Capítulo 1.- Análisis y diseño estructural.

1.1. Concepto de análisis estructural	10
1.2. Concepto de resistencia, rigidez y estabilidad	11
1.2.1. Análisis de resistencia	11
1.2.2. Análisis de rigidez	12
1.2.3. Análisis de estabilidad	12
1.3. Métodos de análisis estructural	13
1.4. Análisis de marcos	15
1.5. Concepto de diseño estructural	16

1.6. Bases y criterios para el diseño estructural	16
1.7. Criterios de diseño estructural.	19
1.8. Proceso del diseño estructural.	21
1.9. Especificaciones y cargas de diseño	25
1.9.1. Acciones permanentes.	26
1.9.2. Acciones variables	27
1.9.3. Acciones accidentales	28
1.10. Solicitaciones sísmicas	29
1.11. Fuerza sísmica de diseño	31
1.12. Estados limite	32
1.13. Sistemas estructurales	34
1.14. Reglamentos	36
1.15. Materiales	37

Capítulo 2.- Estructuras de acero.

2.1. Concepto de acero.	40
2.2. Ventajas y desventajas del acero como material estructural.	41
2.3. Tipos de acero.	44

2.3.1. Perfiles de acero	48
2.3.2. Sistemas de pisos	50
2.4. Función de las estructuras.	52
2.5. Estructuración	54
2.6. Esfuerzos mecánicos	58
2.6.1. Flexión	59
2.6.2. Tensión	60
2.6.3. Compresión	61
2.6.4. Torsión	62
2.6.5. Flexocompresión	63
2.7. Tipos de conexión	63
2.7.1 Soldadura	64
2.7.1.1. Ventajas de la soldadura	64
2.7.2. Conectores mecánicos.	65
2.8. Comportamiento de la estructura	66
2.9. Contraventeos	67
2.9.1. Contraventeos excéntricos	67
2.9.2. Contraventeos concéntricos	69

Capítulo 3.- Resumen de macro y microlocalización.

3.1. Generalidades	70
3.1.1. Objetivo.	70
3.1.2. Alcance del proyecto	71
3.2. Resumen ejecutivo	71
3.3. Entorno geográfico	71
3.3.1. Macro y micro	72
3.3.2. Geología regional y de la zona en estudio.	76
3.3.3. Hidrología regional y de la zona en estudio	77
3.3.4. Uso de suelo regional y de la zona en estudio	78
3.4. Informe fotográfico	80
3.4.1. Problemática	82
3.4.2. Estado físico actual	83
3.5. Solución y planteamiento de alternativas	85
3.6. Proceso de análisis	85

Capítulo 4.- Metodología de la investigación.

4.1. Método empleado	87
4.1.1. Método matemático	89
4.2. Enfoque de la investigación	90
4.2.1. Enfoque cuantitativo	91
4.2.2. Alcance de la investigación	92
4.3. Diseño de la investigación	93
4.3.1. Diseño no experimental	93
4.3.2. Investigación transversal	94
4.4. Instrumentos de recopilación de datos	94
4.5. Descripción del proceso de investigación	96

Capítulo 5.- Cálculo, análisis e interpretación de resultados.

5.1. Descripciones y consideraciones generales.	97
5.2. Modelación de la estructura.	100
5.3. Validación del modelo a revisar.	109
5.3.1. Revisión de la estructura original.	111
5.3.1.1. Revisión de los elementos estructurales.	112

5.3.1.2. Distorsión angular de la revisión.	119
5.4. Propuesta de la estructura.	121
5.4.1. Validación del modelo de la estructura propuesta.	129
5.4.2. Revisión de la estructura propuesta.	132
5.4.2.1. Revisión de los elementos estructurales.	133
5.4.2.2. Distorsión angular del modelo propuesto.	139
5.5. Comparativa estructura original versus estructura propuesta.	140
5.5.1. Periodo fundamental.	140
5.5.2. Resistencias de elementos críticos.	140
5.5.3. Desplazamientos máximos.	142
5.5.4. Distorsiones angulares máximas.	144
5.5.5. Peso de los elementos estructurales.	145
Conclusión.	146
Bibliografía.	150
Otras fuentes.	155
Anexos	

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

La construcción de estructuras ha tenido un gran auge ya que es, en parte, responsable para el desarrollo de las sociedades, siendo de vital importancia, no solo en la actualidad, si no ya desde hace varios años, viéndose esto reflejado en las antiguas civilizaciones.

Gracias a los diversos estudios e innovación de tecnologías se ha podido revolucionar en el mundo de la construcción, obteniendo diversas soluciones a problemas planteados. El diseño estructural es el trabajo del ingeniero civil que permitirá la creación y el desarrollo de una determinada estructura con un grado razonable de seguridad para su comportamiento adecuado bajo las condiciones normales de servicio y a su vez un diseño económico que satisfaga las determinadas exigencias estéticas.

Para que se lleve a cabo una buena propuesta de diseño es importante la implementación de la ingeniería estructural ya que abarca puntos importantes como lo es la investigación, planificación, análisis, diseño, construcción, inspección, evaluación, monitoreo, entre otros aspectos. El análisis estructural permitirá el cálculo de las deformaciones que se presenten en la estructura ocasionada por las sollicitaciones.

La ingeniería estructural es la implementación de materiales que pueden ser estimados para la construcción de estructuras reales con un análisis aproximado para sostener fuerzas que no son conocidas con exactitud, pero se tenga una

responsabilidad que satisfaga a la seguridad pública, siendo así el acero un material de gran resistencia y ductilidad, por lo que en la presente investigación se enfocaran en las estructuras de acero ya que estas se conforman por secciones relativamente esbeltas logrando la optimización del material.

Con referente a la investigación a realizar, se consultó en la biblioteca de la Universidad Don Vasco A.C. algunas tesis relacionadas con el tema del análisis y diseño estructural en edificaciones de acero, no estando completamente relacionadas con el tema a tratar, sin embargo, abarcando algunos puntos en común.

La primera tesis encontrada fue realizada por Claudia Ivette Ramírez Negrete, en el año 2013, con el título “Comparativa de la respuesta de un edificio con distintas alternativas de estructuración”, con el objetivo de encontrar la alternativa ideal de estructuración de una edificación comparando las respuesta de varias edificaciones con distintos materiales, y acomodos de sus elementos, para de este modo visualizar la opción que mejor se adapte como solución para los tres objetivos del diseño; llegando a la conclusión que la estructura con un mejor comportamiento, sin poner en riesgo el costo de la misma, es aquel constituido por una losa de vigueta y bovedilla; esto debido a que es una losa ligera, provocando que los esfuerzos a los que estará sometida la estructura sean menores.

La segunda tesis consultada lleva como nombre “Análisis y diseño estructural de la superestructura para edificio de acero de tres niveles para aulas en Uruapan, Michoacán”, elaborada en el año 2012, por Michael Joaquín Mendoza, teniendo como objetivo analizar y diseñar la superestructura de un edificio de acero que cumpla con todas las condiciones necesarias para tener un buen funcionamiento y

que satisfaga las necesidades para la cual fue proyectada; concluyendo que el análisis y diseño se cumplió de manera satisfactoria, llegando a una estructura que cumple con todas las condiciones para las que fue diseñada de manera adecuada, brindando seguridad y estética.

Para finalizar con las tesis que servirán como referencia al tema a investigar, se encontró en la biblioteca digital de la Universidad Nacional Autónoma de México elaborada por Marycarmen Godínez Estrella, llevando el nombre de “Diseño estructural de un edificio de acero, ubicado en la UAM Iztapalapa”, elaborada en el año 2016, con el objetivo de revisar la estructura de acuerdo al Reglamento de Construcción del Distrito Federal y a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas; llegando a la conclusión de que la estructura cumple con los estados límite de falla y de servicio, por lo que se puede decir que el edificio se comportará de una manera adecuada antes estos límites de falla.

Planteamiento del problema.

Cuando se trata de simple durabilidad y estabilidad, nada es mejor que el acero estructural, dada su alta resistencia, brinda construcciones resistentes y livianas, comparado con otros materiales de construcción. La construcción es rápida y eficiente, lo que permite al contratante la obtención de un bajo costo con el menor tiempo posible, siendo la alternativa óptima al momento de edificar. Si el mantenimiento de las estructuras es adecuado, su duración será mucho mayor al de

las estructuras de concreto reforzado, por ejemplo, además de que las características físicas no cambian significativamente con el paso del tiempo.

Para que el diseño de una estructura de acero sea eficaz, el calculista debe conocer las características del acero como material estructural, conocer la manera como interactúa con sus apoyos y conexiones, así como la forma en que se sostienen y transmiten las cargas actuantes sobre ella.

En la ciudad de Uruapan, al no ser una ciudad tan desarrollada, el uso de estructuras de acero no es muy común debido que los contratistas prefieren el uso de otros materiales por su factibilidad y por no requerir mano de obra especializada. Así pues, los pocos edificios que cuentan con este material no son exhaustivamente calculados para lograr la seguridad bajo toda clase de adversidades, es por esto que surge la pregunta, ¿Por qué es importante diseñar edificios sismos-resistentes, apoyándose del uso de elementos estructurales?

En un país como México el uso de contraventeos es un sistema estructural muy poco conocido, mientras que en otros países ha sido un sistema considerablemente aceptado ya que ayuda a disipar la energía sísmica siendo elementos estructurales que rigidizan la estructura distribuyendo los diferentes esfuerzos producidos por las cargas transmitiéndolos a la cimentación. Como consecuencia de esto, nos permite obtener edificios de grandes claros y alturas con diseños eficientes y económicos.

Objetivos.

Objetivo General:

Revisar, analizar y diseñar la superestructura de una edificación de acero de cuatro niveles mediante factores de cargas sísmicas actuantes y su respuesta con la incorporación de elementos estructurales, que satisfaga las necesidades y cumpla la función para la cual fue proyectada.

Objetivos Específicos.

- 1) Definir los conceptos de análisis y diseño estructural, así como el de las edificaciones objetos de esta tesis.
- 2) Revisar la estructura de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Acero.
- 3) Analizar la estructura bajo los tipos de solicitaciones.
- 4) Diseñar la implementación de los nuevos elementos estructurales.
- 5) Revisar las distorsiones angulares del modelo original y disminuir dichas distorsiones en el modelo propuesto.
- 6) Comparar las características estructurales del modelo original y propuesto.

Pregunta de Investigación.

Diversos factores influyen en el diseño estructural, de los cuales se tomarán en cuenta el tipo y las características del material, el dimensionamiento de los elementos estructurales, así como las cargas actuantes a las cuales estará sometida.

Con el presente trabajo de investigación se pretende dar respuesta a la pregunta: ¿Cuál es la opción de estructuración óptima en la superestructura de acero que satisfaga los objetivos del diseño estructural?, así como también se desea dar solución a las preguntas ¿Qué solicitaciones afectan mayormente a un edificio? ¿Cuál es la importancia de un buen análisis y diseño?, mediante más se avance en la investigación se irá definiendo las opciones para el mejor funcionamiento de la estructura, lo que guiará a la respuesta óptima resultado de la comparación de datos.

Justificación.

En la actualidad, muy pocas edificaciones en México están diseñadas correctamente para soportar las diversas solicitaciones que se pueden presentar, un ejemplo claro de esto son los sismos, de acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (2017) la República Mexicana está situada en una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, enclavada dentro del área conocida como el Cinturón Circumpacífico donde se concentra la mayor actividad sísmica del planeta, Michoacán se encuentra en uno de los estados con mayor sismicidad en la República Mexicana debido a la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera que subducen con las de Norteamérica.

Lamentablemente los fenómenos naturales no solo traen consigo pérdidas económicas o materiales, si no las más importantes que son las vidas humanas.

Se deben realizar estructuras seguras, resistentes y funcionales siendo los ingenieros responsables de que esto se lleve a cabo desde la selección materiales, componentes, conexiones de la estructura que soporten las cargas de forma segura y sin deformación excesiva, el correcto diseño de los planos con todo y sus especificaciones, así como supervisar que los procesos constructivos son seguidos correctamente.

La revisión que se llevara a cabo en la superestructura planteada permitirá reconocer si la existente propuesta es adecuada para soportar los diversos factores ya mencionados con anterioridad y a su vez se obtendrá una propuesta alterna en la cual se implementaran nuevos elementos estructurales a la superestructura, teniendo como apoyo el método de análisis y diseño que permita conocer si existe una mejoría a la superestructura, si esta no mejora en nada o inclusive la termine perjudicando.

Marco de referencia.

La edificación proyectada que será objeto de estudio de esta tesis está situada en la ciudad de Uruapan, Michoacán, menciona datos del Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal que la ciudad de Uruapan está localizada al oeste del estado a una altitud de 1620 metros sobre el nivel del mar, en las coordenadas 19°25' de latitud norte y 102°03' de longitud oeste con respecto al meridiano cero. Limita al norte con Charapan, Paracho y Nahuatzen, al este con

Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan, al sur con Gabriel Zamora, y al oeste con Nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los Reyes.

Su superficie es de 1014.34 km² y representa 1.62 por ciento del total del estado. El estado colinda al noroeste con Colima y Jalisco, al norte con Guanajuato y Querétaro, al este con el Estado de México, al sureste con Guerrero y al sur con el Océano Pacífico.

Su relieve lo conforman el sistema volcánico transversal, y los cerros de Charanda, la Cruz, Jicalán y Magdalena.

El clima del municipio de Uruapan es uno de los más variados del estado de Michoacán pues se ve influenciado por las diferentes altitudes de terreno, existiendo cinco tipos diferentes de clima predominando el templado y tropical con lluvias en verano. Tiene una precipitación pluvial anual de 1, 759. 3, milímetros y temperaturas que oscilan entre 8. 0 a 37. 5 grados centígrados. Se considera pues el punto de unión entre tierra caliente y la meseta Purépecha.

La población total según la Encuesta Intercensal 2015 realizada por el INEGI arroja el total de 334,749 habitantes con una densidad de 330 habitantes por km².

El municipio de Uruapan cuenta con el Aeropuerto Internacional de Uruapan, localizado dentro de la mancha urbana. Mientras que en infraestructura vial nos ofrece el transporte hacia otras ciudades y/o estados a través de 4 carreteras y una autopista, así como sus respectivos caminos sin cuota de libre peaje. Así pues, en la mancha urbana la mayoría de las vías públicas están pavimentadas facilitando el transporte tanto de personas como de mercancías. Uruapan cuenta además con la

Central de Autobuses Uruapan la cual ofrece servicios de autobús a distintas ciudades del estado de Michoacán y de México.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

En el presente capítulo se darán a conocer los parámetros que conforman el análisis y diseño estructural, abordando los reglamentos de construcción, normas, métodos de análisis y dimensionamiento, materiales, entre otros, para obtener el correcto funcionamiento de la estructura.

1.1. Concepto de análisis estructural.

“El análisis estructural se considera como el conjunto de actividades que llevan a la determinación de la respuesta de la estructura ante las diferentes acciones exteriores que puedan afectarla.” (Rochel; 2012: 129)

Menciona Meli (2002), que el análisis estructural se compone de tres etapas:

- 1) La modelación de la estructura que consiste en idealizar la estructura real a través de un modelo teórico factible para ser analizado con los procedimientos de cálculo disponibles. Todo esto implicando la recolección de datos como son las propiedades de los materiales, las propiedades geométricas de la sección y la resistencia del suelo que servirá como cimentación.
- 2) La determinación de las acciones de diseño, como son cargas u otros agentes actuantes, que estarán definidos por códigos a los que el proyectista estará sujeto. Esta determinación abarca la elección del criterio con que se deben

definir los valores de diseño de una acción, la forma de obtener un modelo de esta y la forma de combinar las fuerzas con otras acciones.

- 3) La determinación de las acciones de diseño en el modelo de estructura elegido obteniendo las fuerzas internas (momentos flexionantes y de torsión, fuerzas axiales y cortantes), las flechas y deformaciones de la estructura. Se dice que esta etapa es en la que se realiza el análisis propiamente dicho.

1.2. Concepto de resistencia, rigidez y estabilidad.

El estudio de la resistencia, rigidez y estabilidad ha sido capaz de generar metodologías de análisis sencillas y prácticas para lograr con éxito que las estructuras planteadas bajo estos conceptos tengan un buen comportamiento ante las diversas sollicitaciones que pueden ocurrir.

1.2.1. Análisis de resistencia.

“Podemos acercarnos al concepto de resistencia entendida como la propiedad que permite establecer la capacidad que presenta un objeto para soportar las fuerzas y/o esfuerzos que lo solicitan sin llegar a “romperse”, deformarse de manera permanente o perder su integridad de manera parcial (deterioro).” (Suárez; 2013: 87)

Para que se lleve a cabo un buen análisis de resistencia es necesario desarrollar un criterio razonable y a su vez métodos que ayuden a la elección correcta para su buen funcionamiento, por ejemplo, la división de estructuras a través de diversos elementos, ya sean: vigas, columnas, etc. De tal manera que resulte

posible la idealización de un análisis para satisfacer las condiciones de esfuerzo-deformación, así como cumplir con las condiciones de servicio ante los tipos de sollicitaciones en función de las tensiones asociadas a los esfuerzos internos.

1.2.2. Análisis de rigidez.

Continuando con lo dicho por Suárez (2013), el análisis de rigidez, se estiman los desplazamientos máximos derivados de la acción de las fuerzas externas y de los esfuerzos internos. El elemento o estructura se opone a las deformaciones o desplazamientos excesivos ante las cargas o tensiones que se le apliquen.

Como se mencionó en el apartado anterior, es indispensable el buen criterio del ingeniero para proponer el elemento que cumpla con el correcto funcionamiento a través de un análisis de la rigidez.

1.2.3. Análisis de estabilidad.

De acuerdo con Hibbeler (2012), para que una estructura o cualquiera de sus elementos este en equilibrio no basta con cumplir dichas ecuaciones para la obtención de este, si no deben de estar sujetas a sus respectivos soportes ya que si no se cumple con dicha restricción se pueden presentar dos situaciones distintas, llamadas restricciones parciales o impropias.

Ambas situaciones tienen en común la inestabilidad de la estructura o cualquiera de sus elementos, en el caso de las restricciones parciales se puede definir como parcialmente restringida al tener menos fuerzas reactivas que ecuaciones de equilibrio, caso contrario de las restricciones impropias ya que pueden

existir un sin número de fuerzas desconocidas como ecuaciones de equilibrio, desarrollando como su nombre lo indica una restricción impropia en sus soportes.

El análisis de la estabilidad es de suma importancia como lo es la resistencia y rigidez, ya que se busca que el elemento trabaje de manera uniforme sin la presencia de las restricciones ya que provocan la deformación y como consecuencia la falla de la estructura.

1.3. Métodos de análisis estructural.

En concordancia con Nelson y McCormac (2006), los principios fundamentales aplicados en el análisis estructural son los de las leyes de movimiento y ley de la inercia del físico inglés Sir Isaac Newton, que enuncian que:

- 1) Un cuerpo permanecerá en estado de reposo o en estado de movimiento uniforme rectilíneo, a menos que sea forzado a cambiar su estado por fuerzas impuestas sobre él.
- 2) La razón de cambio de la cantidad de movimiento de un cuerpo es igual a la fuerza neta aplicada.
- 3) Para toda acción existe una reacción igual y opuesta.

Partiendo por lo dicho por Hibbeler (2012), al analizar cualquier estructura indeterminada es necesario satisfacer los requisitos de equilibrio, compatibilidad y fuerza-desplazamiento de esta. El primero se satisface cuando las fuerzas de reacción mantienen en reposo a la estructura. El segundo cumple al ajustarse los diferentes segmentos de la estructura sin necesidad de traslapes adicionales o

interrupciones. Mientras que los de requisitos de fuerza-desplazamiento dependerán de la forma en que responda el material.

Como indica este mismo autor, hay dos maneras diferentes de analizar una estructura estáticamente indeterminada:

- 1) Método de las fuerzas o de las flexibilidades que consiste en escribir las ecuaciones que satisfacen los requisitos de compatibilidad y de fuerza-desplazamiento para la estructura con el fin de determinar las fuerzas redundantes (fuerzas internas o reacciones eliminadas). Una vez calculadas estas fuerzas, se determinan las fuerzas de reacción restantes mediante el cumplimiento de los requisitos de equilibrio.
- 2) Método del desplazamiento o de las rigideces basándose en escribir primero las relaciones fuerza-desplazamiento para los elementos, para luego satisfacer los requisitos de equilibrio de la estructura. En este caso, las incógnitas en las ecuaciones son desplazamientos. Una vez obtenidos los desplazamientos, las fuerzas se determinan a partir de las ecuaciones de compatibilidad y de fuerza-desplazamiento mencionadas anteriormente.

Cabe destacar que cada uno de estos métodos tiene sus ventajas y desventajas particulares, dependiendo de la geometría de la estructura y del grado de indeterminación de esta.

En la actualidad, la mayoría de los softwares utilizados en el análisis estructural utilizan el segundo método debido a que puede analizar estructuras estáticamente determinadas e indeterminadas, así como a la facilidad de formular las

matrices necesarias lo que hace que los cálculos en computadora se realicen de forma más eficiente.

1.4. Análisis de marcos.

“Los marcos de construcción consisten en trabes que están conectadas rígidamente a columnas, de modo que toda la estructura tiene una mayor capacidad para resistir los efectos de las fuerzas laterales debidas al viento y a los terremotos.” (Hibbeler; 2012: 270)

El análisis aplicado a los marcos se puede llevar a cabo a través de diversas técnicas basándose en la deformación debida a las cargas actuantes en la estructura. Una técnica para analizar los marcos es la consideración de los elementos en una región localizada en una estructura, ya que en dicha región existe la deflexión de los elementos alterando a los que se encuentran fuera de ella.

En la estructura se toma en cuenta la curva de deflexión para especificar los puntos de inflexión, estos puntos se refieren cuando la curvatura del elemento cambia, así mismo se les pueden considerar como articulaciones ya que se presentan momentos nulos.

Partiendo de lo dicho por Hibbeler (2012), los marcos pueden estar sometidos ante dos cargas al mismo tiempo, si el material permanece elástico, la carga se determinará por superposición.

1.5. Concepto de diseño estructural.

Meli (2002) menciona que el diseño estructural son las actividades que desarrolla el proyectista para determinar la forma, dimensionamiento y características detalladas de una estructura, es decir, la parte de la construcción que tiene como función soportar en forma satisfactoria las solicitaciones (cargas) que se presentan durante las distintas etapas de su existencia.

“En particular, el diseño estructural implica: la disposición general del sistema estructural; el estudio de los posibles tipos o formas estructurales que representen soluciones factibles; la consideración de las condiciones de carga; el análisis y el diseño estructural preliminares de las soluciones posibles; la selección de una solución y el análisis y el diseño estructural de la estructura. El diseño estructural también incluye la preparación de planos.” (Nelson y McCormac; 2006: 3)

De acuerdo con Meli (2002), el diseño estructural se encuentra inserto en el proceso de una obra civil, siendo de vital importancia, ya que define las características que debe tener la construcción para cumplir adecuadamente las funciones para la que está diseñada, que no sufra fallas o mal comportamiento debido a la incapacidad de soportar las cargas a la que esta impuesta.

1.6. Bases y criterios para el diseño estructural.

Como se mencionó anteriormente, para que se tenga éxito en el diseño estructural existen ciertos lineamientos a cumplir, esto a causa de la incertidumbre

que se pueden presentar en dicha estructura, provocada por las cargas e inclusive por los materiales que se proponen en dicho diseño.

Continuando con lo dicho por Meli (2002) existen bases que deben tener cualquier tipo de construcción, como lo es, el correcto funcionamiento del desempeño de la estructura ante las cargas a las que estará sujeta.

A su vez, el estructurista procura adaptarse a los requisitos arquitectónicos que se plantean, existiendo casos con conocimiento limitado en ciertos requisitos. El proyecto sólo representa una parte que conducirá a la realización de una obra terminada, importando la calidad en el resultado final por lo que otra base para la realización de esto, es que el proyectista elija los materiales y técnicas de construcción ideales.

Es necesario que el proyectista tenga claros los conceptos que se mencionaron con anterioridad, entre otros más, como lo son las acciones y respuesta para que se pueda verificar que están dentro de los límites de falla y de servicio para ejercer juiciosamente su criterio para el procedimiento de dicho diseño, este criterio se basa en la comprensión de la razón de ser, las limitaciones de dichos procedimientos, así como la apreciación aproximada de los valores numéricos incluidos.

“Aquellos relacionados con la seguridad, se denominan estados límite de falla y corresponden a situaciones en las que la estructura sufre una falla total o parcial, o simplemente presenta daños que afectan su capacidad para resistir nuevas acciones.” (Meli; 2002: 56)

El estado límite de servicio se basa con aquellas situaciones donde afecta en el correcto funcionamiento de la estructura, pero no su seguridad, un ejemplo claro de esto pueden ser las grietas, deflexiones, vibraciones, etc.

Para evitar lo mencionado con anterioridad se plantean los siguientes criterios:

- 1) Identificar en el diseño contra qué se pretende tener seguridad, donde se deben aplicar factores de seguridad y qué cubrirán los efectos resultantes, permitiendo comparar la resistencia para cada estado límite contra la acción correspondiente.
- 2) En los reglamentos se prefiere tomar en cuenta las incertidumbres en las variables donde éstas aparecen, por medio de factores de seguridad parciales, en lugar de acumularlos hasta determinan un sólo factor de seguridad final.

En ambos casos existen deficiencias respecto a la revisión de seguridad, por lo que se planteó un criterio directo que lleva por nombre, criterio de diseño por resistencia, en donde se debe de cumplir la siguiente desigualdad:

$$F_R R_D > \Sigma F_C S_d$$

“La resistencia, R_d calculada con los valores nominales de los esfuerzos resistentes de los materiales y con expresiones que son generalmente conservadoras, se multiplica por un factor de reducción de resistencia, F_R , que pretende tomar en cuenta algunos factores adicionales como el modo de falla involucrado en el estado límite en cuestión (si dúctil o frágil). En el otro lado de la desigualdad, los efectos de las acciones de diseño, o sea, las fuerzas internas, S_d ’

obtenidas del análisis de la estructura ante cada una de las acciones de diseño se multiplican, cada una, por factores que toman en cuenta la probabilidad de que se exceda al efecto del conjunto de acciones que interviene en la combinación de cargas que se está considerando.” (Meli; 2002: 96)

1.7. Criterios de diseño estructural.

Partiendo de lo dicho por Nelson y McCormac (2006), el enfoque de diseño con el que cada vez se recurre con más frecuencia es el diseño por resistencia. Las cargas estimadas se multiplican por ciertos factores de carga por lo regular mayores que 1.0 siendo las cargas resultantes últimas las que se usaran para diseñar la estructura. Por lo tanto, la estructura se dimensiona para que la resistencia de diseño última sea suficiente para soportar las cargas últimas.

Según McCormac y Csernak (2012), el AISC (American Institute of Steel Construction) proporciona dos criterios aceptables para diseñar miembros de acero estructural; el diseño con factores de carga y resistencia (LRFD) y el diseño por esfuerzos permisibles (ASD).

Ambos criterios se basan en el principio del diseño por estados límites, el de resistencia definiendo la capacidad de sustentar cargas, la fluencia excesiva, la fractura, el pandeo, la fatiga y el movimiento bruto de cuerpo rígido mientras que el de servicio definirá el comportamiento, la deflexión, el agrietamiento, los deslizamientos, la vibración y el deterioro, todos estos deben evitarse.

El objetivo de ambos criterios es obtener un margen numérico entre la resistencia y la carga que conduzca a una probabilidad aceptable de una respuesta estructural inaceptable. Así mismo, existen dos diferencias principales entre los métodos. La primera siendo el método que se usa para calcular las cargas de diseño mientras que la segunda es el uso de factores de resistencia en el LRFD y de factores de seguridad en el ASD.

Con respecto a los valores de las cargas individuales (carga muerta, carga viva, viento, etc.), McCormac y Csernak (2012) indican que se estimarán de la misma manera según lo requiera la especificación dada. Las diversas combinaciones de estas cargas que puedan ocurrir al mismo tiempo se agrupan y los mayores valores obtenidos se usaran para el análisis y diseño de las estructuras. El mayor grupo de cargas se usará en el método ASD mientras que la mayor combinación lineal de cargas en grupo se usará para el método LRFD.

“La resistencia nominal de un miembro es su resistencia teórica calculada, sin la aplicación de factores de seguridad (Ω_s) o de resistencia (Φ_s).” (McCormack y Csernak; 2012: 52). Mientras que en el LRFD la resistencia nominal se multiplica por un factor generalmente menor a 1.0, en el ASD la resistencia nominal se divide entre un factor mayor que 1.0. Estos factores son tomados en cuenta dependiendo de la resistencia del material, las dimensiones del miembro, la mano de obra y la manera y consecuencias de la falla.

1.8. Proceso del diseño estructural.

Tal como se mencionó anteriormente, se utilizarán los métodos LRFD y ASD para el cálculo empleado en el diseño estructural. Para dichos procedimientos se estiman primero los valores que se esperan tener de las cargas individuales, algunos ejemplos de este tipo de cargas son las cargas vivas, carga muertas, viento, etc., de manera general a estos tipos de carga se les denominan con el nombre de cargas de servicio o de trabajo.

Puede ocurrir la combinación de estos tipos de carga, para un fácil manejo del cálculo, se agrupan y se designa con que método se trabajará para dichos grupos; si se trabaja con el mayor grupo de cargas entonces se apoyará en el método del ASD, si se trabaja con la mayor combinación lineal de cargas en un grupo entonces se apoyará en el método LRFD. Después de las estimaciones de dichas cargas se tiene que seleccionar la combinación más desfavorable para utilizarse en el análisis y diseño.

Mencionan McCormac y Csernak (2012), para las combinaciones de carga con el método de LRFD los grupos posibles de cargas de servicio se multiplica por un factor de carga mayor de 1.0, esto reflejará la incertidumbre de dicha carga y recibirá el nombre de carga factorizada. De esta manera los valores mayores se utilizan para el cálculo de momentos, cortantes y otras fuerzas en la estructura, pero dichos valores no deben ser mayores que las resistencias nominales de los miembros multiplicadas por sus factores, a lo que se puede resumir con la siguiente fórmula:

(Factor de reducción ϕ)(Resistencia nominal de un miembro)

\geq fuerza factorizada calculada en el miembro, $R_u \phi R_n \geq R_u$

Para el método del ASD las combinaciones de carga de servicio generalmente no se multiplican por factores de carga o de seguridad, estas se acumulan y los mayores valores obtenidos se utilizan para el cálculo de las fuerzas en los miembros.

“Estas fuerzas totales no deben de ser mayores que las resistencias nominales de los miembros, divididas por factores de seguridad apropiados.”

(McCormac y Csernak; 2012: 53)

$$\frac{\text{Resistencia nominal del miembro}}{\text{Factor de seguridad } \Omega} \geq \text{mayor fuerza calculada en el miembro, } R_a$$

$$\frac{R_n}{\Omega} \geq R_a$$

Las resistencias de los miembros estructurales se determinan a partir de dichas combinaciones de cargas, para el método del LRFD es a partir de los reglamentos de construcción, ya que, si no existen los valores dados en ASCE 7 pueden ser de utilidad.

De acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias (2017) la seguridad de una estructura deberá verificarse para el efecto combinado de todas las acciones

que tengan una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente, considerándose dos categorías de combinaciones:

- 1) Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes y acciones variables, se considerarán todas las acciones permanentes que actúen sobre la estructura y las distintas acciones variables, de las cuales la más desfavorable se tomará con su intensidad máxima y el resto con su intensidad instantánea, o intensidad media cuando se trate de evaluar efectos a largo plazo. Para la combinación de carga muerta más carga viva, se empleará la intensidad máxima de la carga viva (señalada en la sección 6.1 de las NTC), considerándola uniformemente repartida sobre toda el área. Cuando se tomen en cuenta distribuciones de la carga viva más desfavorables que la uniformemente repartida, deberán tomarse los valores de la intensidad instantánea especificada en la mencionada sección.
- 2) Para las combinaciones que incluyan acciones permanentes, variables y accidentales, se considerarán todas las acciones permanentes, las acciones variables con sus valores instantáneos y únicamente una acción accidental en cada combinación.

En ambos tipos de combinación el efecto de todas las acciones deberá multiplicarse por los factores de carga que le corresponden de acuerdo con lo establecido en las NTC. Para el inciso número uno el factor de carga corresponde al valor 1.1, si es edificación que permanece al grupo A el valor que se tomará será el de 1.5; para el inciso número 2 se utilizará un factor de carga de 1.1 aplicado a los efectos de todas las acciones que intervengan en la combinación; para acciones

cuyo efecto sea favorable a la resistencia o estabilidad de la estructura se utilizara un factor de carga de 0.9 y para revisión de estados límite de servicio se tomará en todos los casos un factor de carga unitario.

Los criterios de diseño para cargas de viento, sismo y cimentaciones deberán de aplicar los factores de carga mencionados con anterioridad. Los tipos de combinaciones que se emplean en el cálculo de acuerdo con las NTC son:

- 1) $CM+CV$.
- 2) $CM+CV+S_x+30\%S_y$.
- 3) $CM+CV+S_x+30\%S_y$.

Donde:

CM = carga muerta.

CV = carga viva.

S_x = Sismo en x.

S_y = Sismo en y.

“El proyectista deberá considerar cuidadosamente si las combinaciones de carga especificadas cubren adecuadamente todas las combinaciones posibles para una estructura especifica. Si se piensa que no, el proyectista puede tomarse la libertad de considerar cargas y combinaciones adicionales como parezca apropiado, Esto es verdad para los métodos LRFD y ASD.” (McCormac y Csernak; 2012: 53)

Ambos métodos tienen enfoques diferentes, pero en ambos se busca la obtención de un margen numérico entre resistencia y carga que conduzca a una respuesta estructural inaceptable.

1.9. Especificaciones y cargas de diseño.

El diseño de la mayoría de las estructuras está regido por especificaciones de diseño y normas. El proyectista se remitirá a las especificaciones como guía, esto no quiere decir que estén escritas con el fin de restringir el pensamiento de los ingenieros sino con el propósito de proteger a la ciudadanía como explica Nelson y McCormac (2006).

Ante la preocupación por la seguridad pública, las autoridades municipales, estatales y federales han establecidos códigos de construcción de estructuras denominados también reglamentos. La carga de diseño de una estructura suele estar especificada en estos códigos como lo señala Hibbeler (2012). El ingeniero estructurista suele trabajar con dos tipos de códigos: los códigos generales de construcción que especifican los requisitos de organismos gubernamentales para cargas mínimas de diseño en las estructuras y los códigos de diseño que proporcionan normas técnicas detalladas utilizadas para establecer los requisitos de diseño de la estructura.

Según Kassimali (2015), el objetivo de un ingeniero estructurista es diseñar una estructura que sea capaz de resistir todas las cargas a las que estará sujeta durante su tiempo de vida útil. Es por esto que, para el diseño, el ingeniero deberá

considerar todas las cargas reales actuantes. Además de estimar las magnitudes de estas cargas también debe considerar la posibilidad de que actúen de manera simultánea en la estructura para finalmente diseñar en base a las combinaciones de carga más desfavorables que puedan ocurrir.

En general, las cargas se clasifican de acuerdo con su naturaleza y duración de la aplicación. De acuerdo con Arnal y Betancourt (2015), en el art. 151 del RCDF, se consideran tres categorías de acciones, las cuales están contenidas en las normas técnicas de construcción, éstas son:

- 1) Acciones permanentes.
- 2) Acciones variables.
- 3) Acciones accidentales.

1.9.1. Acciones permanentes.

Arnal y Betancourt (2015) mencionan que las acciones permanentes son aquellas que obran o actúan de forma continua sobre la estructura y cuya intensidad varía poco sobre el tiempo. Se designan dentro de estas acciones el peso propio de la estructura, la carga muerta, el empuje estático de los suelos y/o líquidos, las deformaciones y los desplazamientos ya sea de toda la estructura en conjunto o de los diferentes apoyos.

“Las cargas muertas de una estructura de un edificio incluyen el peso de los marcos, los sistemas de arriostramiento, los pisos, techos, plafones, muros,

escaleras, sistemas de calefacción y enfriamiento, plomería y sistemas eléctricos, etcétera.” (Kassimali; 2015: 29)

Como nos indican Nelson y McCormac (2006), las cargas muertas se determinan en base a los planos arquitectónicos, mecánicos y de instalaciones de la edificación. Los manuales y especificaciones de los fabricantes servirán para determinar el peso de los materiales de acabados, pisos, plafones, equipo y dispositivos que se utilizarán.

El peso de la estructura se suele asumir en base a la experiencia; es hasta que se analiza y las dimensiones son determinadas que el peso resultante es comparado con el asumido para, de ser necesario, volver a realizar el análisis.

1.9.2. Acciones variables.

El Reglamento de Construcción para el Distrito Federal define a las acciones variables como las que obran sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el paso del tiempo. Señalan también Arnal y Betancourt (2015) que las principales acciones de este tipo son: la carga viva, los efectos de la temperatura, las deformaciones y hundimientos que tengan una intensidad variable con el tiempo, así como las acciones debidas al funcionamiento de maquinaria y equipo.

Las cargas vivas son las que pueden cambiar su lugar y magnitud causadas cuando la estructura se ocupa, se usa y se mantiene, es decir, está en un constante servicio como lo señalan McCormac y Csernak (2012). Si las cargas se mueven bajo

su propio impulso como camiones, grúas o personas, éstas se denominarán cargas móviles.

“Las magnitudes de diseño de las cargas vivas son normalmente especificadas en los códigos de diseño. La posición de la carga viva puede variar, así es que cada elemento de la estructura debe ser diseñado para la posición de la carga que causa los máximos esfuerzos en el elemento.” (Kassimali; 2015: 31)

Si bien las cargas accidentales varían con el paso del tiempo, lo que las diferencia de las cargas variables es que no son causadas por gravedad o por condiciones de operación sino por efectos ambientales.

1.9.3. Acciones accidentales.

Por último, Arnal y Betancourt (2015), establecen que las acciones accidentales son las que no se deben al funcionamiento de la edificación y pueden alcanzar intensidades significativas en lapsos breves de tiempo. Siendo de este tipo los sismos, el viento, el granizo, los incendios u otros fenómenos poco comunes. Será necesario tomarlas en cuenta tanto en el diseño de cimentaciones como en detalles constructivos para evitar catástrofes que provoquen daños humanos y económicos.

Dentro de esta clasificación pueden entrar acciones que normalmente no actúan sobre la estructura más que en casos excepcionales. Partiendo de lo dicho por Fratelli (2003), éstas pueden ser las explosiones por causa de gas, choques de

vehículos pesados, derrumbe de edificios cercanos, volcanes en erupción, explosiones atómicas y otros accidentes similares.

1.10. Solicitaciones sísmicas.

Partiendo de lo dicho por Rochel (2012), uno de los objetivos de las construcciones es soportar las diversas solicitaciones que se le presenten, teniendo un grado razonable de seguridad y confort, para esto la estructura deberá de contar con suficiente resistencia para soportar los efectos producidos por combinaciones de cargas verticales, sismo o viento; contar con una rigidez adecuada para que las deformaciones ocasionadas por estos efectos no sean excesivas para no causar inseguridad en los ocupantes; y en caso de que las cargas por sismo sean mayores a las estimadas sean los elementos estructurales los que solo sufran daños sin llegar a colapsar, a lo que se le conoce como ductilidad.

“Un sismo es un fenómeno de vibración del suelo producido por un impacto en la corteza terrestre. Este impacto puede ser causado por una erupción volcánica, una falla local en el interior de la corteza por abrupto cedimiento de la placa continental u oceánica, o un deslizamiento relativo entre ellas.” (Fratelli; 2003: 58)

Dicho impacto se propaga en forma de ondas produciendo vibraciones afectando toda el área circundante, cada edificio responde a este movimiento de acuerdo a su rigidez, masa, altura y distribución, así como la orientación de sus elementos resistentes en relación a la dirección de propagación de la excitación.

Los sismos son fenómenos naturales que el hombre no controla, causando una incertidumbre relativamente grande al diseño estructural al no conocer sus características e intensidades, enfrentándose a un problema en el cual con estudios de hace varios años se busca una solución aparente que es la selección y dimensionamiento de un sistema estructural por medio de mecanismos de respuesta que soporten este tipo de solicitaciones.

De acuerdo con Rochel (2012), existen los siguientes criterios de diseño que permiten definir la acción sísmica:

- 1) Las estructuras deben resistir, en el rango lineal elástico, todos aquellos sismos de intensidad reducida que ocurran durante su vida útil.
- 2) Las estructuras deben resistir, sin daños significativos, aunque si existe un comportamiento no lineal de manera no lineal aquellos sismos de intensidad moderada que ocurran durante su vida útil. Se permiten daños menores como fisuramiento a flexión en el hormigón y pequeñas incursiones de fluencia del acero de vigas y losas, o fallas en los elementos no estructurales cuya reparación económica sea rápida y factible.
- 3) Las estructuras deben resistir, en el rango no lineal, un sismo severo que ocurra una sola vez durante su vida útil. Se admiten daños significativos en los elementos estructurales, pero no el colapso de la estructura. El nivel permitido de daños depende de la importancia de la edificación.

1.11. Fuerza sísmica de diseño.

Rochel (2012) afirma que la base del diseño sísmico no es el temblor más intenso que deberá de resistir la edificación, sino se tomarán en cuenta los sismos que han afectado en el pasado el lugar donde se construirá la misma. En muchas regiones su ocurrencia es alta, mientras que en otras es mucho más esporádica o nula en algunos casos. Aunque sea este el caso, ninguna zona puede considerarse a salvo de los efectos sísmicos, por lo tanto, es necesario que las estructuras de gran importancia tengan un diseño sismorresistente.

Arnal y Betancourt (2015) explican, a través del art. 165 del RCDF, que las estructuras se analizaran bajo las acciones de dos componentes horizontales ortogonales de movimiento del terreno; la dirección principal mayor será la dirección de la cortante basal (ésta será la más determinante) y la dirección principal menor será perpendicular a la anterior. Las deformaciones y fuerzas internas que resulten se combinarán entre sí según lo especifiquen las normas, y se combinarán con los efectos de las fuerzas gravitacionales y de las otras acciones que correspondan. En caso de que la estructura no cumpla con las condiciones de regularidad, deberá analizarse usando modelos tridimensionales.

Dentro del diseño sísmico, la definición de la acción de diseño es de vital importancia, aunque los reglamentos ya especifican la intensidad sísmica que deberá de usarse dependiendo del tipo de estructura y de la región geográfica, si se trata de una estructura de particular importancia será necesario realizar estudios específicos para determinar la carga sísmica de diseño usando las características topográficas, geológicas, sismológicas y de mecánica de suelos del lugar como indica Meli (2002).

Según Bazán y Meli (2010), los actuales reglamentos de construcción con diseño sísmico, entre ellos el RCCDMX, aceptan que el análisis estructural por cargas sísmicas se puede efectuar considerando que las estructuras tengan un comportamiento elástico lineal, aunque durante los temblores severos se ha llegado a demostrar que las edificaciones pueden caer en un comportamiento inelástico. Debido a que las fuerzas resistentes de un edificio se encuentran en la resultante de las fuerzas laterales que resiste cada uno de los elementos, se enfatiza el utilizar métodos matriciales y simplificados ya que proveen resultados exactos y permiten verificar si no se han cometido errores. Aceptando la hipótesis de comportamiento elástico lineal y aplicando factores de reducción a este análisis, se pueden utilizar estos métodos para marcos y otros sistemas estructurales.

1.12. Estados limite.

“El estado límite es la situación más allá de la cual una estructura, miembro o componente estructural, no es más apta para satisfacer la función prevista.” (Fratelli; 2003: 60)

El límite de resistencia, deformabilidad, fractura frágil, el colapso plástico, las vibraciones, fatiga, efectos que sobrepasen las condiciones aceptables de servicio entre otros más, son algunos de los límites que conforman la utilidad estructural.

Menciona Fratelli (2003), el objetivo del análisis y diseño de los estados limites es obtener una estructura superando la frontera de utilidad asegurando la resistencia,

estabilidad y rigidez de los elementos ante cualquier combinación provocada por las sollicitaciones a la que estará expuesta la edificación durante su vida útil.

La estructura debe tener la capacidad de la absorción y disipación de la energía ante la más desfavorable acción actuante de las cargas exteriores en un tiempo aleatorio, esto implica acatar las normas y a su vez la calidad en materiales empleados, una correcta fabricación, ensamblaje de los miembros con una correcta inspección y mantenimiento para obtener los resultados deseados. Para la obtención de dichos resultados se consideran en el diseño dos tipos de estados límites que son: estado límite de agotamiento resistente y el estado límite de servicio.

“El estado límite de agotamiento resistente está relacionado con la seguridad y la capacidad resistente de cada miembro, sus uniones y conexiones, para lo cual deben tener una resistencia de diseño mayor o igual a la resistencia requerida que se obtiene al mayorar las cargas nominales.” (Fratelli; 2003: 60)

Continuando con lo dicho por Fratelli (2003), el estado límite de servicio se refiere cuando la estructura presenta condiciones aptas para ser habilitada sin inconvenientes, pueden existir vibraciones, deformaciones, agrietamientos, etc., siempre y cuando no afecte la capacidad de carga de la estructura. Existen exigencias con este tipo de estado límite, los cuales son: flechas limitadas, correcto funcionamiento de las instalaciones, vibraciones y oscilaciones controladas, drenaje eficiente, protección ante corrosión e incendios, entre otros.

1.13. Sistemas estructurales.

Tal como menciona Kassimali (2015), en la mayoría de las edificaciones, dos o más sistemas estructurales básicos, se ensamblan entre sí para formar sistemas estructurales que transmitan las cargas aplicadas en él hacia la cimentación y después al suelo. Dichos sistemas estructurales se denominan marcos o marcos estructurales y los componentes de éstos se les llama elementos estructurales.

En concordancia con Hibbeler (2012), el conocer los diferentes tipos de elementos que componen una estructura es muy importante para un ingeniero estructural, por lo que a continuación se mencionan algunos:

- 1) **Tensores:** Son los elementos sometidos a una fuerza de tensión. Debido a esta carga, los elementos tienden a ser delgados, siendo de este tipo las varillas, barras, ángulos o canales.
- 2) **Vigas:** Son elementos diseñados para resistir momentos de flexión, aunque si se le llega a aplicar grandes cargas en una sección pequeña, en esta regirá la fuerza cortante interna. Son elementos rectos horizontales que por lo regular soportan cargas verticales.
- 3) **Columnas:** Son elementos que resisten cargas de compresión axial, aunque pueden estar sujetas simultáneamente a un momento de flexión. Son elementos generalmente verticales, mientras que las secciones transversales tubulares y de ala ancha se utilizan en columnas de acero, las secciones transversales cuadradas y circulares apoyadas de acero de refuerzo se usan en columnas de concreto.

Como ya se mencionó, la combinación de los elementos estructurales y el material con el que están hechos se denomina sistema estructural. A su vez Hibbeler (2012), habla de la clasificación de los sistemas estructurales dependiendo de la complejidad de su análisis de fuerzas.

- 1) Armaduras: Consisten en elementos delgados, habitualmente colocados de manera triangular. Las armaduras planas solo tienen dos componentes, ambas en el mismo plano y se utilizan en el soporte de puentes y techos. Las armaduras espaciales tienen elementos en las tres dimensiones y se utilizan en grúas y torres. Las cargas que provocan la flexión de una armadura hacen que sus elementos se encuentren a flexión o compresión.
- 2) Cables y arcos: Se utilizan para cubrir distancias largas. En la mayoría, los cables son flexibles, soportando cargas en tensión y siendo utilizados como soportes en puentes y techos de edificios. Por otra parte, los arcos al tener una curvatura inversa que los cables, soportan cargas en compresión y son utilizados en estructuras de puentes, techos de cúpula y aberturas en muros de mampostería.
- 3) Marcos: Están compuestos por vigas y columnas conectadas rígidamente o mediante articulaciones. Pueden extenderse tan dos o tres dimensiones, Las cargas en un marco ocasionan flexión en sus elementos por lo que la resistencia se deriva de las interacciones de momento en las uniones rígidas de vigas y columnas. Es el sistema estructural más usado en edificios.

Es importante estudiar el comportamiento de los sistemas estructurales en la etapa no lineal para poder relacionarlo con la respuesta de las secciones y sus elementos. “El comportamiento de una estructura en su conjunto depende del tipo de comportamiento que tengan los elementos que la componen, pero depende también en forma importante de la manera en que estos elementos se encuentran integrados y conectados para formar la estructura en su conjunto.” (Bazán y Meli; 2010: 166).

Mencionan estos autores que el mecanismo de comportamiento no lineal depende del tipo y número de secciones que sobrepasen la etapa lineal, es decir, mientras más secciones y más dúctil sea el comportamiento las mismas en la etapa no lineal, mayor será la ductilidad del sistema.

1.14. Reglamentos.

En concordancia con McCormac y Csernak (2012), en la mayoría de las estructuras el diseño está regido por especificaciones de diseño y normas. Si no rigen el diseño, la mayoría de los proyectistas las tomará como guía. Las especificaciones de ingeniería son desarrolladas por diversas organizaciones con las opiniones más valiosas de instituciones.

“Los reglamentos para el diseño de estructuras son documentos legales que tienen como función proteger a la sociedad contra el colapso o mal funcionamiento estructural de las construcciones.” (Meli; 2002: 101)

Las autoridades municipales y estatales, han establecido reglamentos de control de la construcción de las estructuras bajo su jurisdicción por la seguridad pública, en donde se especifican las cargas de diseño, esfuerzos de diseño, tipos de

construcción, calidad de los materiales, entre otros más. Se debe destacar que dichos reglamentos dependen de la localidad en la que te encuentres.

Existen organizaciones como el AISC (American Institute of Steel Construction) y la ASSHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) que se recomienda su uso de forma nacional o regional. La mayoría de los reglamentos de construcción, municipales y estatales, han adoptado las especificaciones AISC; los departamentos estatales de carreteras y de transporte han adoptado las especificaciones AASHTO.

Existen también reglamentos como el LRFD (Load and Resistance Factor Design), ACI (American Concrete Institute) y el más utilizado en México que es el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (RCCDMX) complementándose con las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para evitar que el reglamento permanezca el mayor tiempo posible sin alteración, en el caso de las normas es más sencillo la actualización ya que no necesita el arduo proceso de legalización del reglamento.

1.15. Materiales.

Las características que hacen que un material sea adecuado para cumplir funciones estructurales se relacionan con sus propiedades mecánicas y con su costo principalmente. Según Bazán y Meli (2010), la respuesta sísmica de la estructura está influida determinantemente por las características del material que la compone. Las principales características son:

- 1) El peso volumétrico ya que, al estar asociado con la masa de la estructura, influirá en las fuerzas de inercia y los periodos de vibración.
- 2) El módulo de elasticidad que determina la rigidez lateral y su periodo en la estructura, así como el cumplimiento de los estados límites de servicio.
- 3) La forma de la curva esfuerzo-deformación.
- 4) La ductilidad del comportamiento y la forma de los lazos de histéresis que definirán el amortiguamiento inelástico.

Meli (2002), enfatiza que la función de un material no es puramente el estructural, también deberá tener propiedades que ayuden a la impermeabilidad y durabilidad ante la intemperie, aislamiento térmico y acústico, proporcionar cualidades estéticas, entre muchas otras.

Si bien los materiales pétreos, junto con la madera, fueron los primeros en ser utilizados por el hombre en las construcciones al tener un módulo de elasticidad en compresión y una resistencia relativamente altos, este poseía un comportamiento frágil. Bazán y Meli (2010), describen que el módulo de elasticidad de este material depende de la calidad de los agregados, el peso volumétrico del concreto y de la velocidad con que se le aplica la carga. A pesar de esto sigue siendo el material más popular aprovechando la durabilidad, la resistencia al fuego y la moldeabilidad que ofrece.

“De los materiales comúnmente usados para fines estructurales, el acero es el que tiene mejores propiedades de resistencia, rigidez y ductilidad, Su eficiencia estructural es además alta debido a que puede fabricarse en secciones con la forma más adecuada para resistir flexión, compresión u otro tipo de sollicitación.” (Meli;

2002: 279). Por sus excelentes características, los elementos de este material son capaces de disipar mucha energía por comportamiento inelástico. Estas características se verán anuladas si en el diseño de los elementos se presentan los fenómenos de pandeo o fractura frágil.

CAPÍTULO 2

ESTRUCTURAS DE ACERO

En este apartado se darán a conocer las características que conforman a las estructuras de acero, abordando los tipos, funciones de la estructura, así como los elementos que lo conforman para un comportamiento adecuado de la edificación con la implementación de otros elementos estructurales.

2.1. Concepto de acero.

“Se define como acero estructural a lo que se obtiene al combinar el hierro, carbono y pequeñas proporciones de otros elementos tales como silicio, fósforo, azufre y oxígeno, que le contribuyen un conjunto de propiedades determinadas.” (Díaz y Ortega; 2016: www.issuu.com). Este material es uno de los más usados para la construcción de estructuras civiles por sus características físicas, mecánicas y económicas.

El esfuerzo de fluencia (f_y) y la capacidad de deformación dependen de la composición química del acero y del tratamiento a que éste haya sido sometido. Así mismo, las estructuras de acero, en especial las de bajo contenido de carbono, se comportan de mejor manera ofreciendo un factor de seguridad debido a la ductilidad, como menciona Fratelli (2003).

Este mismo autor indica que las características mecánicas del acero representan la resistencia de un miembro estructural de este material sometido a solicitaciones estáticamente aplicadas, obteniendo así el diagrama de esfuerzo contra deformación. Estas características dependen de su composición química, de sus aleaciones, de la forma de enfriamiento, de su proceso de laminación, del tratamiento térmico posterior al enfriamiento y del tipo de solicitaciones al que sea sometido el acero.

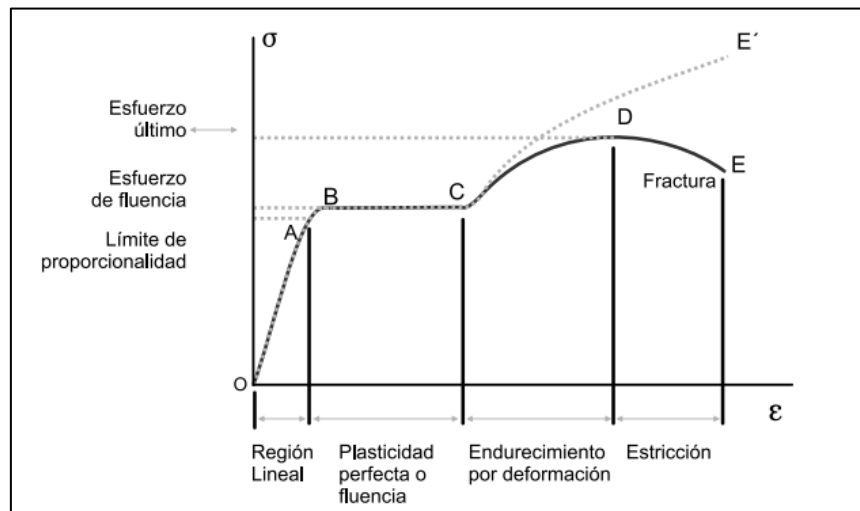


Figura 2.1.- Diagrama esfuerzo-deformación de una barra de acero.

Fuente: Muñoz; 2012: 31

2.2. Ventajas y desventajas del acero como material estructural.

El diseño de estructuras de acero siguiendo los códigos y reglamentos modernos poseen características muy favorables de capacidad de disipación de energía lo que las convierten en la mejor solución al momento de resistir efectos

sísmicos. McCormac y Csernak (2012) explican que ante la supuesta perfección de este material y ante la versatilidad de este, existen propiedades que lo hacen ser el material idóneo para la construcción. Estas ventajas del acero estructural son:

- 1) Alta Resistencia: Al ser un material de alta resistencia por unidad de peso, esto implicara un menor peso de la estructura con respecto al concreto.
- 2) Elasticidad: La elasticidad es una propiedad en la que un cuerpo se deforma dependiendo de la carga aplicada y recupera su forma original después de quitar dicha carga. El acero es el material que se comporta de mejor manera hasta esfuerzos muy altos siguiendo la ley de Hooke.
- 3) Uniformidad: Esto significa que las propiedades del acero no cambian perceptiblemente con el tiempo como si ocurre en el concreto reforzado.
- 4) Durabilidad: La capacidad de resistencia al deterioro en la intemperie o un medio ambiente agresivo, haciendo un mantenimiento adecuado mediante el uso de pinturas anticorrosivas, indican que las estructuras pueden durar indefinidamente.
- 5) Ductilidad: La ductilidad es la capacidad del material para ser sometido a grandes deformaciones inelásticas sin fallar o sufrir fractura. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente, evitando así fallas prematuras.
- 6) Tenacidad: La tenacidad es la capacidad de un material de absorber una gran cantidad de energía, antes que sobrevenga la rotura. Por lo tanto, la tenacidad depende de la resistencia y la ductilidad. Ésta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a

grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente.

- 7) Soldabilidad: Es la propiedad de permitir la ejecución y perfecto funcionamiento de una unión mediante soldadura, bajo determinadas condiciones. sin que se afecten las propiedades mecánicas del acero. La soldabilidad varía considerablemente para los diferentes tipos de aceros, y según el proceso de soldadura que se ejecute.
- 8) Ampliación: La adaptación de estas estructuras a añadir nuevas crujeas e incluso alas enteras.
- 9) La facilidad con que un acero permite ser taladrado, fresado, labrado o trabajado sin que se vean afectadas sus propiedades mecánicas.
- 10) La resistencia al impacto, es decir, la capacidad de absorber la energía provocada por la aplicación súbita de una carga viva o acción dinámica.
- 11) La posibilidad de prefabricar los miembros, la rapidez del montaje, la gran variación de formas y tamaños de los elementos, entre otras.

Aunque existen demasiadas ventajas, el acero no deja de tener ciertos impedimentos que no por ser menores en cantidad, deben de serlo en importancia.

En general, el acero tiene las siguientes desventajas:

- 1) Costo de mantenimiento: La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al agua y al aire y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente.
- 2) Costo de la protección contra el fuego: Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen

considerablemente durante los incendios. Además, al ser un excelente conductor de calor, los elementos sin protección podrán transmitir el calor a otros materiales e intensificar el incendio.

- 3) Susceptibilidad al pandeo: El pandeo es más susceptible en miembros a compresión largos y esbeltos como es el caso de las columnas, lo que generará que se necesite acero extra para rigidizarlas.
- 4) Fatiga: Esto ocurre cuando se ve reducida la resistencia del acero debido a cambios en la magnitud del esfuerzo a tensión.
- 5) Fractura frágil: Ocurre en lugares de concentración de esfuerzos debido a la pérdida de ductilidad. También puede ocurrir debido a la fatiga, las bajas temperatura o los esfuerzos triaxiales.

2.3. Tipos de acero.

Partiendo de lo dicho por Merritt y colaboradores (2008), existen cuatro categorías que permite clasificar los tipos de acero. Los que utilizan como elemento principal el carbono en la aleación, reciben el nombre de aceros estructurales al carbono; los que en su contenido de aleación se tienen cantidades moderadas de otras aleaciones (aparte del carbono) para desarrollar la resistencia adecuada, denominados aceros al carbono de baja aleación.

Por último, existen dos clases de aceros llamados aceros al carbono con tratamiento térmico y aceros de aleación con tratamiento térmico para construcción,

son aceros enfriados o templados que su endurecimiento se logra a base del contenido del carbono u otras aleaciones diversas.

“Aceros al carbono son los que: 1) el máximo contenido específico de cualquiera de los elementos siguientes no excede al porcentaje anotado: 1.65% de manganeso, 0.60% de silicio y 0.60% de cobre, y 2) los contenidos mínimos no están especificados para los elementos que se adicionan con objeto de conseguir el efecto de aleación deseado.” (Frederick y colaboradores; 2008: sección 9.2)

En la lista de este tipo de acero se encuentra el A36, disponible en láminas, varillas y perfiles estructurales, los otros solo están disponible en láminas y se consiguen en dos o más niveles de resistencia, aunque existen excepciones como el acero A283 y A285 con un solo nivel de resistencia.

La lámina A283 se usa principalmente para depósitos de aceite y agua, se le suministra cuatro niveles de resistencia con sus respectivos puntos de fluencia. El acero A573 se destina para instalaciones en temperaturas atmosféricas incrementando la tenacidad de la ranura, otros aceros laminares como A285, A515 y A516 se utilizan para construcciones de acero con aplicaciones críticas como los depósitos a presión, el A501 y A53 son otro de los tipos de aceros al carbono.

“El acero de baja aleación y alta resistencia tiene un punto de fluencia mínimo especificado de alrededor de 40 ksi en condiciones de rolado en caliente y obtiene su resistencia por la adición de aleaciones pequeñas más que mediante el tratamiento de calor.” (Frederick y colaboradores; 2008: sección 9.3)

El acero A588 se aplica en estructuras donde es importante su durabilidad ya que es cuatro veces mayor resistente a la corrosión ambiental que la del acero al

carbono, está disponible en láminas, perfiles y varillas, los aceros A588 y A242 proporciona durabilidad a la pintura. Este acero se puede emplear con o sin recubrimiento. Para reducir pesos y costos se usa el acero de alta resistencia A572, acero de baja aleación, pero su corrosión es la misma que la del acero al carbono.

De acuerdo con Frederick y colaboradores (2008), los aceros de alta resistencia y al carbono tratado térmicamente, como su nombre lo indica son tratados con calor para obtener mejores propiedades mecánicas. Existen láminas de acero A633 que son soldables con grado A hasta E proporcionando una excelente combinación entre resistencia y dureza, el A678 son láminas soldables bajo condiciones de templado mientras que el A852 es un acero templado y revenido, intemperizable, con resistencia a la corrosión.

“Aceros de aleación constructiva, tratados con calor son aceros tratados térmicamente con contenidos de elementos de aleación y son apropiados para aplicaciones estructurales; por ello se les llama aceros de aleación constructiva tratados con calor. El A514 (grados A hasta Q) son láminas de acero con cubierta y aleación templadas y un punto de fluencia mínimo de 90 a 100 ksi.” (Frederick y colaboradores; 2008: sección 9.5)

Designación de la ASTM	Espesor de las láminas, in	Grupo ANSI/ASTM o peso/pie para perfiles estructurales	Punto de fluencia o resistencia de fluencia, ksi	Resistencia a la tensión, ksi
Aceros al carbono				
A36	Hasta 8, incl.	Hasta 426 lb/ft, incl.	36	58-80
	No aplicable	Más de 426 lb/ft	36	58
	Más de 8	No aplicable	32	58-80
A283, Grado C	No especificado	No aplicable	30	55-70
A285, Grado C	Hasta 2, incl.	No aplicable	30	55-75
A515 o A516 Grado 55	Hasta 12, incl.	No aplicable	30	55-75
A515 o A516 Grado 60	Hasta 8, incl.	No aplicable	32	60-80
A515 o A516 Grado 65	Hasta 8, incl.	No aplicable	35	65-85
A515 o A516 Grado 70	Hasta 8, incl.	No aplicable	38	70-90
A573, Grado 65	Hasta 1½, incl.	No aplicable	35	65-77
A573, Grado 70	Hasta 1½, incl.	No aplicable	42	70-90
Aceros de baja aleación y alta resistencia				
A242	Hasta ¾, incl.	Grupos 1 y 2	50	70
	Más de ¾ hasta 1½, incl.	Grupo 3	46	67
	Más de 1½ hasta 4, incl.	Grupos 4 y 5	42	63
A588	Hasta 4, incl.	Grupos 1-5	50	70
	Más de 4 hasta 5, incl.		46	67
	Más de 5 hasta 8, incl.		42	63
A572, Grado 42	Hasta 6, incl.	Grupos 1-5	42	60
A572, Grado 50	Hasta 4, incl.	Grupos 1-5	50	65
A572, Grado 60	Hasta 1¼, incl.	Grupos 1 y 2	60	75
A572, Grado 65	Hasta 1¼, incl.	Grupo 1	65	80
Aceros de alta resistencia y al carbono, tratados térmicamente, de baja aleación				
A633, Grado C y D	Hasta 2½, incl.	Investiguese	50	70-90
	Más de 2½ hasta 4 incl.		46	65-85
A633, Grado E	Hasta 4, incl.		60	80-100
	Más de 4 hasta 6, incl.		55	75-95
A678, Grado C	Más de ¾, incl.	No aplicable	75	95-115
	Más de ¾ hasta 1½, incl.		70	90-110
	Más de 1½ hasta 2, incl.		65	85-105
A852	Hasta 4, incl.	No aplicable	70	90-110
Aceros de aleación para construcción, tratados térmicamente				
A514	Hasta 2½, incl.	No aplicable	100	110-130
	Más de 2½ hasta 6, incl.		90	100-130

Tabla 2.1.- Propiedades mecánicas especificadas de los aceros

Fuente: Merritt y colaboradores; 2008: sección 9.5

2.3.1. Perfiles de acero.

“El acero estructural puede laminarse en forma económica en una gran variedad de formas y tamaños sin cambios apreciables en sus propiedades físicas. Generalmente los miembros estructurales más convenientes son aquellos con grandes momentos de inercia en relación con sus áreas. Los perfiles I, T, y C, que son de uso tan común, se sitúan en esta clase.” (McCormac y Csernak; 2012: 7)

Las láminas y perfiles de acero han sido fabricados y publicados en catálogos con sus respectivas dimensiones, pesos, entre otras propiedades de dichas secciones. Se utilizan para muchas aplicaciones estructurales, ejemplo de esto es en la construcción de edificios y el revestimiento resistente de equipo de transporte; esto demuestra que los elementos formados en frío también se incluyen en esta clasificación.

McCormac y Csernak (2012), señalan que los perfiles de acero por lo general se designan por la forma de sus secciones transversales. Algunos ejemplos de esto son los perfiles en ángulo, tes, zetas y placas; cabe destacar que se hace una distinción entre las vigas estándar americanas llamadas vigas S y las de patín ancho que se les denomina vigas W , ya que ambas tienen la forma de I .

Existan diversas características de las vigas S y W , algunas de ellas son:

- 1) El patín de una sección W tiene su superficie interna y externa paralela, o bien, casi paralela con una pendiente máxima en el interior de 1 a 20, dependerá del fabricante.
- 2) La viga S tiene una pendiente de 1 a 6 en la superficie interior de sus patines.

- 3) Los espesores constantes o casi constantes de las vigas W facilitan las conexiones a diferencia de los patines ahusados de las vigas S .

Existen más características que se pueden encontrar en el AISC, donde se proporciona información más detallada sobre los perfiles estructurales de acero. En la figura 2.2 se muestran los perfiles S y W junto con otros perfiles comunes de acero.

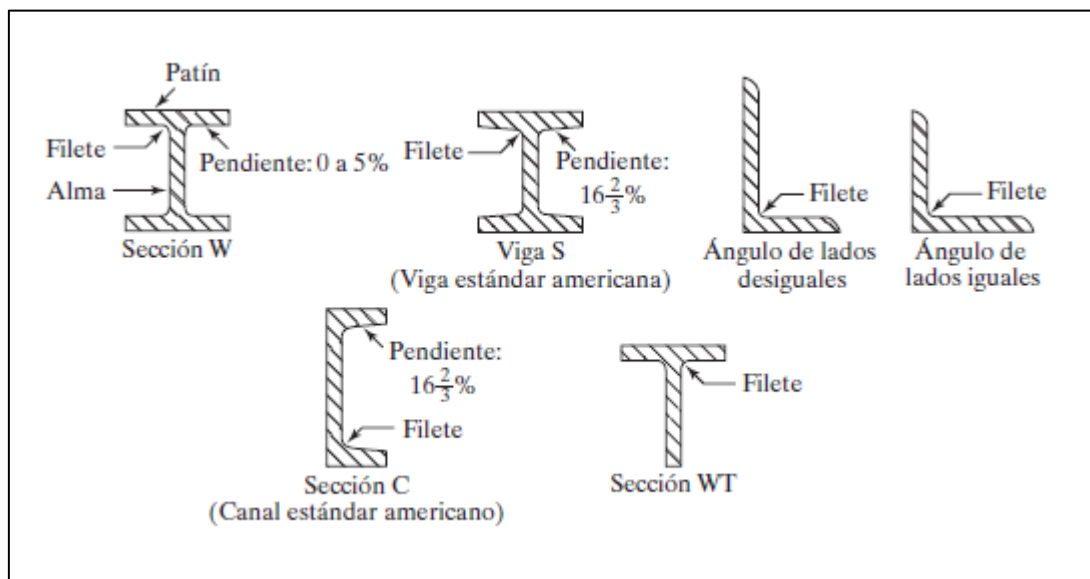


Figura 2.2.- Perfiles laminados de acero

Fuente: McCormac y Csernak; 2012: sección 9

Algunas de las secciones de acero listadas en el Manual se consiguen en Estados Unidos, puede ocurrir que solo uno o dos productores tengan en existencia dichas secciones de acero por lo que puede ser difícil su obtención inmediata; por

tanto, el diseñador deberá tener la precaución al especificar las secciones propuestas en el diseño, así como ponerse en contacto con un fabricante de acero para obtener una lista de las secciones en existencia.

2.3.2. Sistemas de piso.

Partiendo de lo dicho por McCormac y Csernak (2012), usualmente en las edificaciones con estructuras de acero se utilizan losas de concreto para piso ya que son fuertes, resisten perfectamente el fuego y tienen una buena capacidad de absorción acústica, pero el tiempo y gastos apreciables para el cimbrado necesario de dichas losas.

Un sistema de piso tiene como función estructural el transmitir las cargas verticales hacia los apoyos que a su vez bajan hasta la cimentación; así como cumplir la función de conectar los elementos verticales y distribuir entre ellos las cargas horizontales. Existe una gran variedad de soluciones estructurales que se le pueden otorgar a un sistema de piso, debido a las innovaciones gracias a las tecnologías en la construcción.

Un ejemplo de estas soluciones son las losas macizas, no altera el funcionamiento estructural y cuenta con ventajas constructivas como la intención de reducir la cimbra lo que por ende afectaría en el costo y tiempo de ejecución. Las losas macizas pueden ser armadas en una o dos direcciones; en una dirección es utilizada cuando el lado largo de la losa es dos o más veces la longitud del lado corto, es decir se apoya en dos lados opuestos; se dice que es en dos direcciones cuando esta se apoya en los cuatro lados.

“Existen diversos tipos de losa reticular que se construyen colando el concreto en moldes removibles llamados casetones. (Se dispone de algunos moldes especiales de material corrugado ligero que se pueden dejar en el lugar.) Las hileras de casetones se acomodan sobre la cimbra de madera y el concreto se cuela sobre la parte superior de éstos, dando lugar a una sección transversal. Las vigas se forman entre los casetones, dando un piso del tipo de viga T.” (McCormac y Csernak; 2012: 652)

Mencionan McCormac y Csernak (2012), otro tipo de sistema estructural basándose en una losa reforzada en dos o más direcciones, transfiriendo cargas a las columnas de soporte sin la necesidad de usar vigas y trabes que sobresalgan hacia abajo, llamándolas como losas planas. Este tipo de sistema es útil cuando se desea una mayor altura libre, se prevén cargas pesadas o se requieren colocar ventanas cerca de la parte superior de los muros.

Existen casos que por medio de elementos removibles o que quedan formando parte de la losa, forman huecos para conseguir un aligeramiento llamándola como losa reticular. Esta se genera con una retícula de nervaduras poco espaciadas en las que se concentra el refuerzo de flexión.

En la actualidad el sistema de piso más utilizado en edificios, oficinas, hoteles, entre otros, son los pisos con tableros de acero con un recubrimiento de concreto.

“Una ventaja particular de estos pisos es que la lámina constituye inmediatamente una plataforma de trabajo. Las cubiertas para piso de acero corrugado son bastante fuertes. Debido a la resistencia de la lámina, el concreto no

tiene que ser de gran resistencia, lo que permite el uso de concreto ligero en capas con espesores de 2 a 2 1/2 plg, dependiendo del espaciamiento de las vigas o largueros de apoyo. Las celdas en la lámina se pueden utilizar convenientemente para alojar conductos, tubos y cableado. El acero probablemente es galvanizado y si queda expuesto por abajo puede dejarse aparente o pintarse, según se desee. Si fuera necesaria resistencia al fuego, se usaría un plafón con listones metálicos y aplanado.” (McCormac y Csernak; 2012: 654)

2.4. Función de las estructuras.

“Cuando se diseña una estructura para que desempeñe una función específica para el uso público, el ingeniero debe considerar su seguridad, estética y facilidad de mantenimiento, y a la vez tener presentes las limitantes económicas y ambientales. A menudo esto requiere varios estudios independientes sobre las diferentes soluciones posibles antes de tomar una determinación final sobre cuál es la forma estructural más adecuada.” (Hibbeler; 2012: 3)

En subtemas anteriores se han mencionado los diferentes tipos de cargas y solicitaciones a las cuales, pueden estar sometidas las estructuras, provocando las deformaciones de estas y que se prediga la resistencia en el diseño para soportar dichas cargas.

Se le considera como daño cuando existe en cualquier parte de la estructura la incapacidad de funcionar satisfactoriamente; produciendo deformaciones elásticas excesivas, deformaciones inelásticas o fluencia, fractura o colapso. Se debe de

diseñar el sistema estructural de manera de que este daño quede limitado y que los demás elementos estructurales que no han sido dañados sigan siendo estables.

“El sistema debe de poseer suficiente continuidad y ductilidad, o capacidad para absorber energía, de modo que, si pequeñas partes de él resultan dañadas, otras partes transfieran las cargas (por lo menos hasta que se efectúen reparaciones) a las componentes estructurales restantes capaces de llevar las cargas al suelo.” (Merritt y colaboradores; 2008: sección 6)

Si la estructura no posee la capacidad para soportar estas fallas, puede conducir a un colapso progresivo de los elementos estructurales adyacentes, ya sea de una en mayor proporción o de toda la estructura. Una alternativa es proponer en el diseño resistencias con reservas para cualquier tipo de accidente, a lo que se le conoce como factor de seguridad. El proceso de diseño es un tanto creativo como técnico, se requiere de un conocimiento fundamental de las propiedades de los materiales como las leyes que rigen la respuesta de estos.

De acuerdo con Hibbeler (2012), ya que se propuso el diseño, el siguiente paso es analizar para asegurar que la estructura cumpla con la rigidez y fuerzas necesarias a través de idealizaciones, no solo de las cargas y solicitaciones que se mencionó con anterioridad, si no de las conexiones y apoyos de los elementos estructurales entre sí, dichos resultados si son desfavorables implica realizar modificaciones en el análisis estructural lo que nos arroja una determinación más precisa del peso y tamaño de los elementos para poder cumplir la función a la cual estará destinada.

2.5. Estructuración.

Una estructura es un sistema de partes conectadas que se utiliza para soportar cargas, un ejemplo de estas son los edificios, puentes y las torres. Expone Aroquipa (2012) en la página electrónica www.academia.edu (2018) que el estructurar es el arte de ensamblar miembros o elementos independientes para formar un cuerpo único y cuyo objetivo es dar solución a un problema civil determinado tanto en cargas y formas.

El comportamiento final de la estructura estará definido por la manera de ensamblar y el tipo de miembro a utilizar lo que constituirá los diferentes sistemas estructurales existentes. El sistema estructural será entonces, el soporte básico que transmitirá las fuerzas actuantes a sus apoyos de tal manera que se garantice seguridad, funcionalidad y economía, además de estética, todo esto determinado por la combinación de la forma, el material y las dimensiones de los elementos, así como de las cargas a las que está sometida.

Cuando se habla de estructuración, no solamente se refiere a la simetría de la estructura, ya que este y otros factores como la forma, el tipo y arreglo de los elementos estructurales y la distribución de las masas del edificio tienen una influencia mucho mayor en el diseño sismo-resistente que en el diseño de otras acciones. La sencillez, uniformidad o simetría son aspectos básicos que contribuyen a reducir significativamente el riesgo de presentar un mal comportamiento ante la acción sísmica. Basándose en la experiencia obtenida, observando el comportamiento de los sismos en diferentes partes del mundo, Rochel (2012) enlista

una serie de recomendaciones sobre estructuración para lograr un mejor comportamiento sísmico:

- 1) Poco peso: Se recomienda que las estructuras sean livianas, debido a que las fuerzas sísmicas surgen como consecuencia de las inercias que son proporcionales a la masa y por consiguiente al peso del edificio. Debe procurarse que la estructura y los elementos no estructurales tengan el menor peso posible, prestando especial atención en el peso de los muros y de los acabados ya que representan aproximadamente el 50% del peso total de la estructura.
- 2) Sencillez, simetría y regularidad: “La sencillez de la estructura permite al proyectista entender claramente la forma en la que ésta resiste las cargas laterales y en las que puede disipar la energía introducida por el sismo” (Meli; 2002: 474). Además de que los modelos matemáticos son más realistas, es más fácil preparar, dibujar, entender y construir detalles estructurales. La falta de sencillez también provoca falta de simetría, lo que origina efectos de torsión difíciles de evaluar con precisión provocando, en sismos intensos, deformaciones inelásticas que se concentran en zonas débiles y crean daños muy apreciables.
- 3) Formas poco alargadas, tanto en planta como en elevación: También se debe intentar que no sean muy alargadas en planta y elevación; en planta, para reducir la posibilidad de que el movimiento en un extremo del edificio sea diferente a la del otro, y en altura, para reducir el momento de volcamiento que encarece la cimentación. Las formas excesivamente alargadas provocan que

la losa pierda rigidez en su plano para trabajar como diafragma y aumente la excentricidad en las rigideces. De igual manera, no es recomendable las formas en L, T y C, así como las que tengan fuertes entrantes, ya que provocan problemas de torsión.

- 4) Uniformidad en la distribución de resistencia, rigidez y ductilidad: Conviene que la resistencia y la rigidez de la estructura estén repartidas uniformemente, sin concentrarse en unos cuantos elementos.
- 5) Hiperestaticidad y líneas escalonadas de defensa estructural: Entre más hiperestaticidad tenga la estructura, es mayor el número de secciones que deben fallar antes que la estructura colapse. La resistencia de un edificio ante el sismo depende de su capacidad para disipar energía, mientras la estructura tenga mayor continuidad y monolitismo, más hiperestático será y mayor será su capacidad de disipar energía obteniendo líneas de defensa ante los temblores.
- 6) Formación de las articulaciones plásticas en los elementos horizontales antes que en los verticales.
- 7) Propiedades dinámicas adecuadas al terreno en el cual se construye la estructura: “Se recomienda intentar que las propiedades dinámicas de la estructura sean congruentes con las del suelo en la cual está cimentada; en general, se dice que en suelos firmes se comportan mejor las estructuras flexibles y en suelos blandos las estructuras rígidas. Lo que se trata es de evitar la posible resonancia por coincidencia de las propiedades dinámicas de la estructura y del suelo.” (Roche; 2012: 95)

- 8) Congruencia entre lo proyectado y lo construido: Se deben evitar zonas o elementos sobrediseñados, es decir, el proporcionar a algunas partes de la estructuración resistencia superior a la mínima exigida por el reglamento, ya que dichas secciones no participaran en la deformación de la estructura.

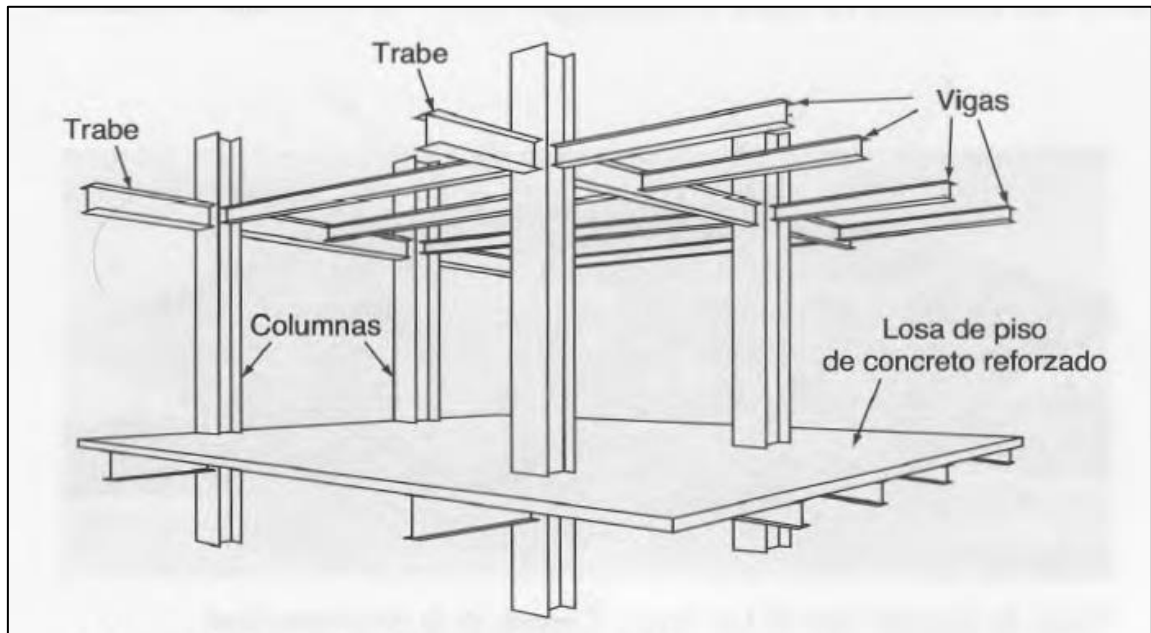


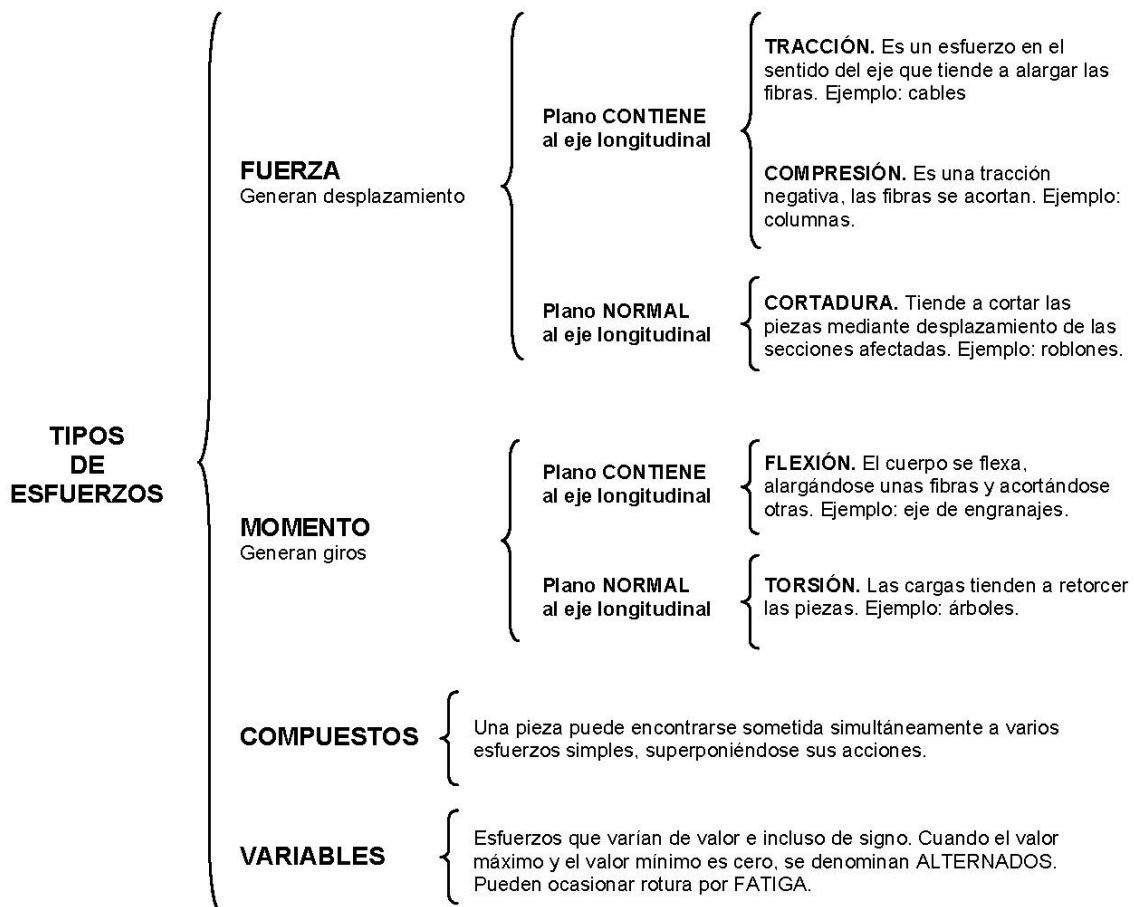
Figura 2.3.- Estructuración típica de un edificio.

Fuente: Nelson y McCormac; 2007: 9.

La estructuración es quizá el aspecto más importante dentro del diseño, ya que se selecciona el material, el sistema estructural principal y el arreglo y dimensiones preliminares de los elementos estructurales con el objetivo de adoptar la solución más óptima entre todas las opciones.

2.6. Esfuerzos mecánicos.

Si bien, anteriormente se habló de las cargas a las que está sometida una estructura (vivas, muertas, accidentales), estas cargas generan un esfuerzo como respuesta. Un esfuerzo es la fuerza interna que experimentan los elementos de una estructura cuando son sometidos a fuerzas externas. Los elementos de una estructura deben soportar estos esfuerzos sin romperse ni deformarse. Dependiendo de cómo actúan las fuerzas, los esfuerzos serán de diferente manera.



Cuadro 2.1.- Tipos de esfuerzos.

Fuente: ibiguridp3.wordpress.com (2007)

Kassimali (2015) menciona que las estructuras se clasifican dependiendo del tipo principal de esfuerzos a los que están sometidos sus elementos bajo las cargas de diseño. Los esfuerzos son principalmente cinco como se indica en el cuadro anterior: tracción o tensión, compresión, cortadura o cortante, flexión y torsión. Sin embargo, se debe tener en cuenta que se pueden combinar dos o más tipos básicos de estructuras por los que también existen esfuerzos compuestos que son los que actúan al mismo tiempo en una estructura. Para fines de este proyecto, a continuación, se describirán algunos de los esfuerzos más comunes en las estructuras de acero.

2.6.1. Flexión.

Un elemento está sometido a un esfuerzo de flexión, cuando las fuerzas que actúan sobre él tienden a curvarlo. Este esfuerzo provoca que el miembro se doble. Varias de las estructuras comúnmente usadas, como es el caso de vigas, marcos rígidos, pisos y placas, se clasifican como estructuras de flexión. Es una combinación de tensión y compresión. Mientras que las fibras superiores de la pieza sometida a flexión se acortan, las inferiores se alargan.

“El esfuerzo normal de flexión varía linealmente en el peralte de una viga en flexión por un esfuerzo máximo de compresión en la fibra extremas o más alejada del eje neutro de su lado cóncavo, a un esfuerzo máximo de tensión en la fibra extrema del lado convexo de la viga.” (Kassimali; 2015: 11)

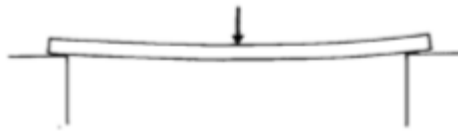


Figura 2.4.- Esfuerzo de flexión.

Fuente: recursostecno.wikispaces.com (2011)

2.6.2. Tensión.

Un elemento está sometido a un esfuerzo de tensión, cuando las fuerzas que actúan sobre él tienden a estirarlo. Este esfuerzo provoca alargamiento del miembro. Los miembros que resisten este esfuerzo se conocen como tensores o tirantes y algunos ejemplos de estos son las cadenas, las barras delgadas, las varillas, los alambres, los cables y torones de acero.

“Las estructuras sujetas a tensión compuestas por cables flexibles de acero son frecuentemente utilizadas para soportar puentes y cubiertas de grandes claros. Gracias a su flexibilidad, los cables tienen una resistencia de flexión despreciable, y son capaces de desarrollar solo tensión. Por lo tanto, en virtud de las cargas externas, el cable adopta la forma que le permite soportar las cargas debido únicamente a fuerzas de tensión.” (Kassimali; 2015: 7)

La selección de un perfil para usarse como miembro a tensión, como lo señalan McCormac y Csernak (2012), es uno de los problemas más sencillos en el diseño de estructuras. El proyectista solo necesita determinar las cargas actuantes ya que no existe el riesgo de que el miembro a tensión se pandee.



Figura 2.5.- Esfuerzo de tensión.

Fuente: recursostecno.wikispaces.com (2011)

2.6.3. Compresión.

Un elemento está sometido a una fuerza de compresión, cuando las fuerzas que actúan sobre él tienden a comprimirlo. Este esfuerzo provoca aplastamiento del miembro. Existen varios tipos de miembros que trabajan a compresión, de los cuales la columna es el más conocido. Además, muchos otros miembros tienen compresión en alguna de sus partes.

“Los miembros estructurales comprimidos son los que soportan fuerzas axiales que tienden a producir el acortamiento de sus fibras en el sentido longitudinal. Cuando la sollicitación es compresión pura, se conocen por puntales, mientras que las columnas son miembros que soportan compresión como principal sollicitación, pero pueden además resistir corte, flexión y torsión.” (Fratelli; 2003: 216)

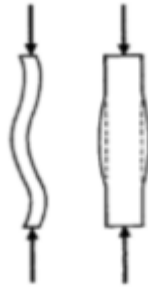


Figura 2.6.- Esfuerzo de compresión.

Fuente: recursostecno.wikispaces.com (2011)

2.6.4. Torsión.

Un elemento está sometido a un esfuerzo de torsión, cuando las fuerzas que actúan sobre él tienden a retorcerlo. Las fuerzas de torsión son las que hacen que una pieza tienda a retorcerse sobre su eje central. Están sometidos a esfuerzos de torsión los ejes que giran, las manivelas, los cigüeñales, etc.



Figura 2.7.- Esfuerzo de torsión.

Fuente: recursostecno.wikispaces.com (2011)

2.6.5. Flexocompresión.

Un elemento está sometido a un esfuerzo de flexocompresión, cuando este recibe una combinación de esfuerzo por flexión y carga axial (que origina compresión). Estos miembros son mucho más comunes de lo que parece ya que, aunque las cargas de un edificio pudieran centrarse perfectamente sobre las columnas o las vigas, no permanecerían estacionarias, además de otros factores como las conexiones, los defectos en los elementos o el viento afectan la concentración de cargas como enfatizan McCormac y Csernak (2012).

“Numerosos ejemplos pueden mencionarse de estructuras que resisten flexocompresión tales como los arcos cuyos ejes no sean los antifuniculares de las cargas, los pórticos rígidos que soportan fuerzas gravitacionales y laterales de viento o sismo, los cordones superiores de las armaduras de techo con correas apoyando en la luz entre los nodos del sistema, etc.” (Fratelli; 2003: 434)

2.7. Tipos de conexión.

Para la unión entre los diferentes elementos estructurales de acero, como lo son las trabes y las columnas, se aplican diversos métodos para poder lograrlo, como se definen a continuación.

2.7.1 Soldadura.

“La soldadura es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de sus superficies a un estado plástico o fluido, permitiendo que las partes fluyan y se unan (con o sin la adición de otro metal fundido).” (McCormac y Csernak; 2012: 469)

El uso de la soldadura se remonta a más de 3000 años, en donde se utilizaba un proceso de llevar al rojo vivo las piezas que se deseaban unir para después martillar hasta lograr la forma deseada. El gran auge de las soldaduras fue durante la segunda guerra mundial, ya que era necesario reparar las maquinarias y armamentos bélicos en corto tiempo.

En la actualidad, en casi todos los trabajos estructurales se permite la soldadura, se construyen elevados edificios en acero, en donde la correcta selección de secciones y perfiles, conjuntamente con un material de aporte compatible para la soldadura y mano de obra de calidad se obtienen miembros y conexiones seguras, resistentes y confiables.

2.7.1.1. Ventajas de la soldadura.

La soldadura hoy en día te permite aprovechar grandes beneficios como se mostró con anterioridad, existiendo más ventajas señalándose a continuación:

- 1) Economía de material: El uso de la soldadura permite grandes ahorros en el peso del acero utilizado. En las estructuras soldadas permite eliminar un gran porcentaje de las placas de unión y de empalme, así como la

eliminación de las cabezas de remaches o tornillos. En algunas estructuras de puentes, es posible ahorrar hasta un 15% o más del peso de acero.

- 2) Perfecta conexión de los elementos: Una conexión soldada presenta pocas dificultades a comparación de los remaches o tornillos, así como un área de aplicación mucho mayor que estos.
- 3) Rapidez de ejecución de las uniones: El proceso de fusionar las partes por unir, da como resultado a una estructura continua, además las juntas soldadas son tan fuertes, no debe de haber limitaciones a las uniones permitiendo el montaje sinfín de estructuras de acero.
- 4) Limpieza en los acabados: Realizar cambios en el diseño y corregir errores durante el montaje (a menor costo) resulta más fácil si se utiliza soldadura.

Lo silenciosos que resulta soldar, así como el uso de menos piezas ahorrando tiempo en detalle, fabricación y montaje de la obra, son otras ventajas que se obtienen de la soldadura.

2.7.2 Conectores mecánicos.

Menciona Fratelli (2003), la soldadura conecta miembros estructurales, siendo esto un tipo de unión, los conectores mecánicos realizan el mismo trabajo clasificándose en tres tipos que se presentan a continuación:

- 1) Remaches: Consiste en un vástago provisto de una cabeza manufacturada, el cual es calentado a una temperatura aproximada a los 980°C e insertado en los agujeros previamente punzonados o barrenados

de las piezas a conectar. Al ser colocados, los remaches son estampados en caliente en su extremo libre con el uso de pistolas remachadoras.

- 2) Pasadores: Este tipo de conector son vástagos cilíndricos que se introducen en agujeros previamente taladrados o sopleteados en los miembros a conectar, permitiendo materializar rotulas o articulaciones para la unión de dos o más miembros de una estructura o apoyos simples a tierra.
- 3) Pernos o tornillos: dispositivos con cabeza cuadrada o hexagonal formados por un vástago cilíndrico con roscado exterior en su extremo libre, que se insertan a través de agujeros pasantes en piezas a unir, ajustándose con tuercas o arandelas en su extremo sobresaliente de rosca.

2.8. Comportamiento de la estructura.

El análisis del comportamiento mecánico de una estructura se lleva a cabo modelando la estructura, entendiendo a este modelo analítico como una representación simplificada (idealización) de la realidad física y funcional de la estructura. Su objetivo principal es facilitar el análisis de una estructural complicada.

Kassimali (2015) indica que el modelo requiere tener la mayor precisión posible y práctica para que represente el comportamiento de acuerdo con el interés del analista, descartando muchos detalles en elementos, conexiones, etc., que puedan tener poco efecto sobre las características deseadas.

Los modelos se utilizan para predicción de esfuerzos, tensiones, movimientos y deformaciones y es por lo que han de recoger la utilidad funcional de la estructura,

sus características geométricas y su comportamiento, por lo que se requiere una gran experiencia a la hora de definir modelos.

2.9. Contraventeos.

Expone Tapia (S/F), que el sistema de contraventeos son elementos estructurales que aumentan la rigidez lateral en la estructura, ya que resiste las cargas laterales a la cual está sometida la estructura transmitiéndola hacia la cimentación y a su vez controlar las deformaciones.

“Por esto, en un edificio estructurado con marcos contraventeados, la respuesta inelástica ante excitaciones laterales de todo el sistema es altamente dependiente de las capacidades y de la respuesta inelástica de los contravientos (Tapia; S/F: 3).

En los sistemas de los contraventeos se consideran de dos tipos, conocidos como contraventeos excéntricos y los contraventeos concéntricos, los cuales se definirán a continuación.

2.9.1. Contraventeos excéntricos.

El uso de contraventeos excéntricos permite por un lado limitar el cortante sísmico que es introducido a la estructura y por otro lado concentrar el daño en regiones específicas de la estructura ya que posee una gran rigidez elástica, un comportamiento histerético estable y una gran capacidad de disipación de energía.

”El comportamiento de un marco contraventeado excéntricamente depende fundamentalmente de la longitud del eslabón de cortante o excentricidad (e) (Fig. 1a). Un caso extremo, cuando $e = 0$ (Fig. 1b), se refiere a un sistema contraventeado concéntricamente, en el cual se tiene una gran rigidez elástica; sin embargo, la falla de este sistema estaría dada por el pandeo de una de sus diagonales.” (García y colaboradores; S/F: 2)

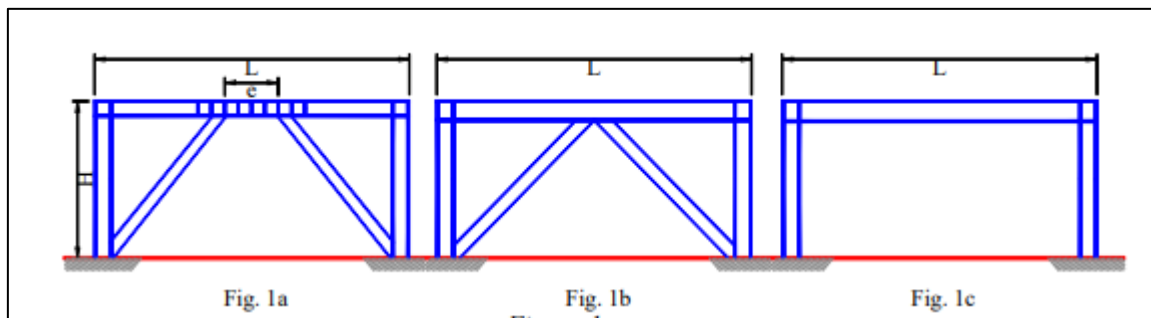


Figura 2.8.- Principales configuraciones de marcos con contraventeo excéntrico.

Fuente: García y colaboradores; S/F: 2

Continuando con lo dicho por García y colaboradores (S/F), el otro extremo, se define cuando $e = L$ (Fig. 1c), siendo un caso de un marco a flexión, en el que su comportamiento queda regido por la capacidad a flexión de sus elementos.

2.9.2. Contraventeos concéntricos.

De acuerdo con Tena (S/F), los marcos con apoyos concéntricos, son una clase de estructuras que resisten cargas laterales a través de un sistema de armadura concéntrica vertical, los ejes de los miembros se alinean concéntricamente en las articulaciones ya que intersecta aproximadamente con el eje de la trabe y la columna.

A continuación, se muestran las diferentes configuraciones de arriostramiento que se utiliza:

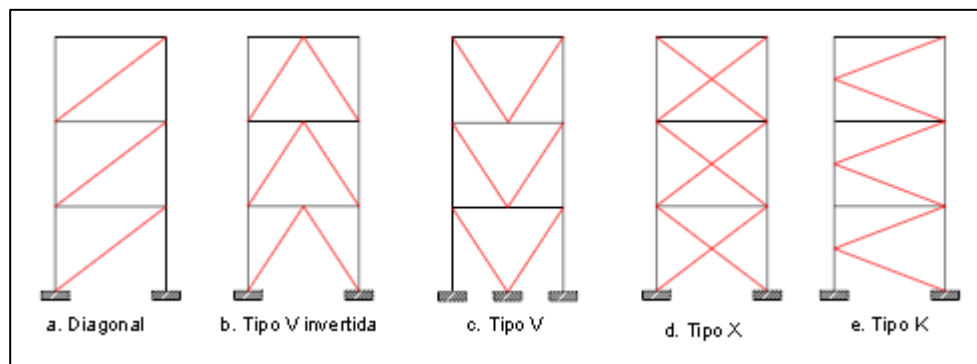


Figura 2.9.- Principales configuraciones de marcos con contraventeo concéntrico.

Fuente: Tena; S/F: 6

Suelen ser eficientes en la resistencia lateral porque pueden proporcionar alta resistencia y rigidez.

CAPÍTULO 3

RESUMEN DE MACRO Y MICROLOCALIZACIÓN

En este capítulo se aborda todo lo referente al entorno geográfico donde se desarrolla el proyecto, partiendo de lo general a lo particular, mencionando características como la extensión territorial, ubicación y geología, con el fin de dar una idea al lector del lugar donde se realizó la tesis.

3.1. Generalidades.

El análisis y diseño de la superestructura se adecua siguiendo las especificaciones del lugar, la topografía del terreno y las características geográficas de la zona. El plano del proyecto debe especificar secciones, elevaciones y plantas estructurales y arquitectónicas.

La revisión de la superestructura se realizará únicamente con los datos de los planos antes mencionados y la memoria de cálculo del proyecto.

3.1.1. Objetivo.

El objetivo de este proyecto es revisar, analizar y diseñar la superestructura de una edificación de acero de cuatro niveles mediante factores de cargas sísmicas actuantes y su respuesta con la incorporación de elementos estructurales, que satisfaga las necesidades y cumpla la función para la cual fue proyectada.

3.1.2. Alcance del proyecto.

En el presente trabajo de investigación se da a conocer el procedimiento de análisis de la estructura bajo los diferentes tipos de solicitaciones, así como, el diseño implementando nuevos elementos estructurales, siguiendo la normatividad para este tipo de construcciones.

3.2. Resumen ejecutivo.

Para dar inicio con dicho trabajo de investigación, se solicitó la información a la constructora Jamit Arquitectos S.C., encargada de la construcción de la edificación, dicha información consta de planos arquitectónicos, planos estructurales, perfiles, secciones (fachadas), así como, la memoria de cálculo requerida para el análisis y comparación de resultados.

El análisis y revisión constará de la comparación del modelo actual con el propuesto, implementando contraventeos como nuevo elemento estructural con el fin de mejorar la respuesta del edificio ante las diversas solicitaciones a las que esté expuesta.

3.3. Entorno geográfico.

Para la elaboración del proyecto, es necesario describir el lugar en donde se construirá la superestructura, ya que se deben de tomar los diversos factores que

puedan afectar a dicha construcción, tal como es lo es su localización, la geología e hidrología, así como el uso del suelo del lugar, como se verá a continuación.

3.3.1. Macro y micro localización.

La elaboración del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el país de México, cuyo nombre oficial es denominado como Estados Unidos Mexicanos. México abarca una extensión territorial de 1,964,375 km², las coordenadas extremas que enmarcan el territorio mexicano son: norte: 32° 43´ 06´´ latitud norte, por el sur: 14° 32´ 27´´ latitud norte, por el este: 86° 42´ 36´´ longitud oeste y finalizando en el Oeste: 118° 27´ 24´´ longitud oeste, según datos informativos obtenidos por la Secretaría de Relaciones Exteriores en su página electrónica www.embamex.sre.gob.mx.

Cuenta con una población de 119,530,753 habitantes, según datos del INEGI obtenidos en el año 2015. Su lengua nacional es el español junto a otras 67 lenguas indígenas que son propias de la nación. La división política de México se compone de 32 entidades federativas, las cuales se muestran en la siguiente imagen del mapa de la República Mexicana.



Imagen 3.1.- Mapa de la República Mexicana con división política.

Fuente: descargarmapas.net (2018)

El estado en el cual se encuentra ubicado el proyecto de la presente tesis, es el estado de Michoacán, cuyas coordenadas son $19^{\circ} 24' - 17^{\circ} 55' N - 101^{\circ} 0' 103^{\circ} ' O$, limitando al norte con Jalisco y Guanajuato, al noreste con Querétaro, al este con el Estado de México, al suroeste con Colima, al sur con el río Balsas que lo separa de Guerrero, y al oeste con el océano Pacífico. Cuenta con una población 4,599,104 habitantes y su extensión territorial es de 58,585 km², dividiéndose el estado en 113 municipios, siendo su capital el municipio de Morelia. Para la mejor localización del

proyecto, en la siguiente imagen de la República Mexicana se resalta el estado de Michoacán.



Imagen 3.2.- Mapa de la República Mexicana, resaltando el estado de Michoacán.

Fuente: es.wikipedia.org (2011)

De manera más específica, el lugar de estudio del presente trabajo de investigación es en la ciudad de Uruapan y se encuentra localizado en la Primera Privada de Bruselas No. 12 colonia La Joyita. El lugar será destinado al uso de oficinas en una de las zonas más transitadas y de mayor impacto comercial de la ciudad.

La construcción se encuentra en las coordenadas Latitud 19°23'54.4" Norte y Longitud 102°03'19.0" Oeste, siendo el clima y las características geográficas de la

zona igual que en la mayor parte de la ciudad por lo que todas las descripciones del entorno necesarias para su comprensión son como las anteriormente mencionadas.

En la siguiente imagen se observa la ubicación del predio donde se construirá, así como las vialidades cercanas al mismo.



Foto 3.1.- Fotografía satelital del sitio de estudio.

Fuente: Google Earth.

3.3.2. Geología regional y de la zona en estudio.

La geología está constituida según estudios del INEGI por rocas formadas en los periodos plioceno-cuaternario, neógeno, cuaternario y el cretácico, dividiéndose en rocas ígneas intrusivas como el granito; en rocas ígneas extrusivas conformadas en mayor porcentaje por basaltos, tobas, andesitas y dacita; finalizando con las rocas sedimentarias.

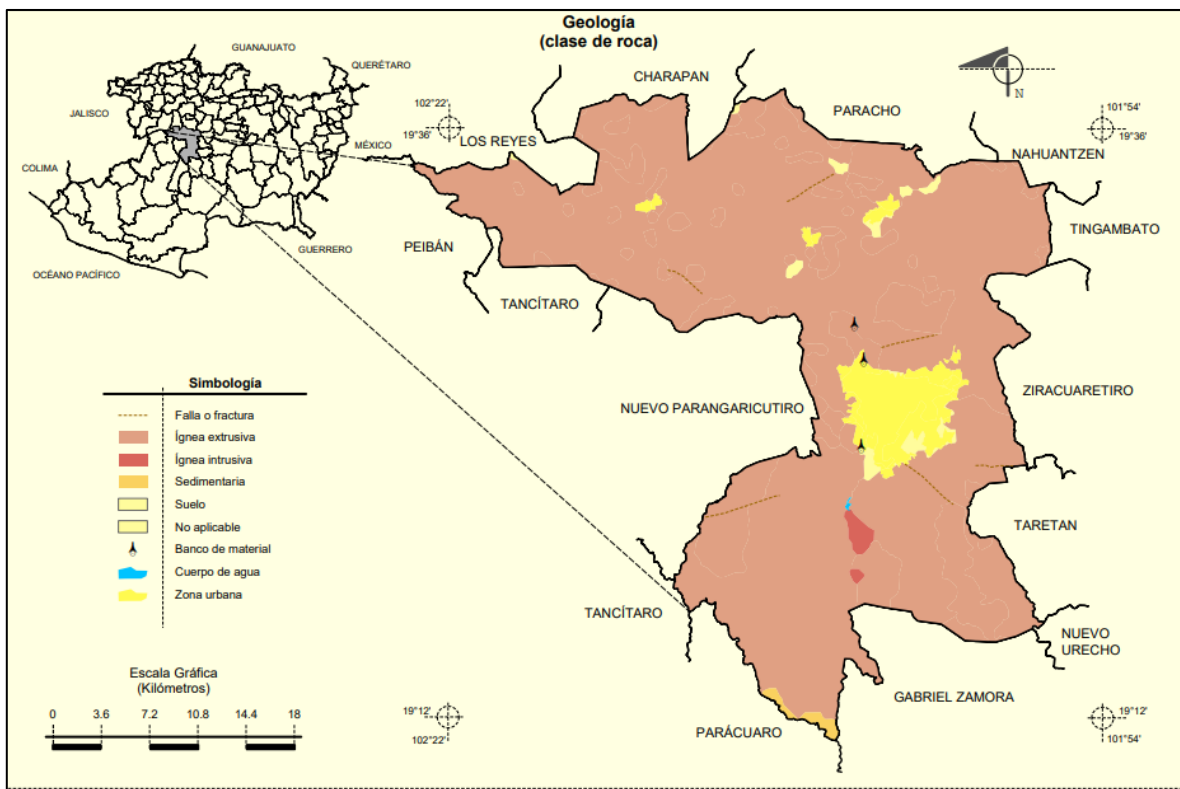


Imagen 3.3- Geología de Uruapan.

Fuente: www3.inegi.org.mx

Las localidades en las que se pueden encontrar estos tipos de minerales dentro del municipio de Uruapan son: Toreo El Alto, localizándose a 8.41 Km en línea recta al N 30° E de la cabecera municipal Uruapan, tratándose de un banco de productos volcánicos de andesita-basalto; Cheranguerán, se ubica a 5.90 Km en línea recta al N 15° W de la cabecera municipal Uruapan, tratándose de un gran banco de productos volcánicos y piroclásticos; Capácuaro, se localiza a 15.8 km en línea recta al N 74° E de la cabecera municipal Uruapan, se trata de un banco de productos volcánicos basálticos; entre otros según el Servicio Geológico Mexicano.

3.3.3. Hidrología regional y de la zona de estudio.

Se cuenta con dos importantes ríos para la región: el Lerma y el Balsas, el cual el último tiene como afluente el río Cupatitzio, existiendo embalses en Caltzontzin, Salto Escondido y Cupatitzio, así como la cascada conocida como la Tzaráracua. Según la INEGI forma parte de la Cuenca del río Tepalcatepec-Infiernillo y con la Cuenca del río Tepalcatepec, pertenecientes a la Región hidrológica Balsas.

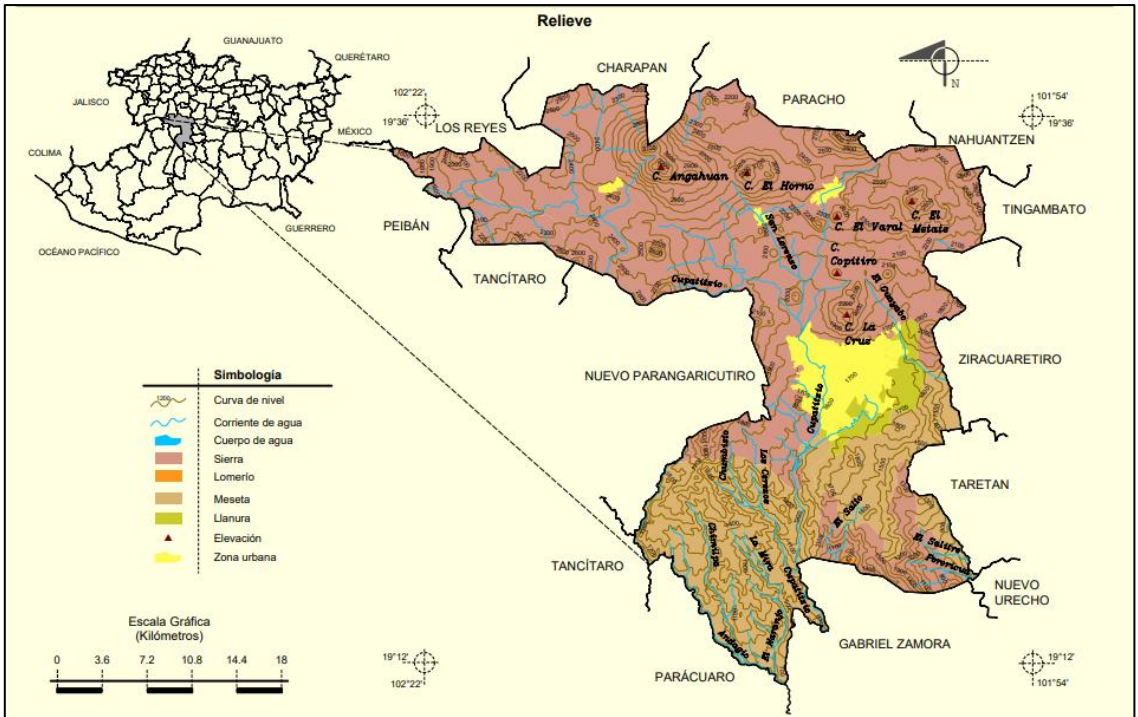


Imagen 3.4- Relieve de Uruapan.

Fuente:www3.inegi.org.mx

3.3.4. Uso de suelo regional y de la zona en estudio.

De acuerdo con el Instituto Nacional del Federalismo y el Desarrollo Municipal (2018), los suelos del municipio datan de los periodos cenozoico, terciario, cuaternario y eoceno. Su uso es primordialmente forestal y en menor proporción agrícola y ganadero.

La vegetación del municipio se conforma por un 23.3% para agricultura de riego, 20.7% para agricultura de temporal, 3.6% de bosque de encino, 51.7% de bosque de pino y 0.5% de selva baja caducifolia. Sus principales productos agrícolas

con el aguacate, caña, maíz, durazno, jícama, zarzamora, avena, pastos y praderas, tomate, jitomate, mamey, papa, nopales, mango, guayaba, chile, plátano, ciruela, cebada, manzana, naranja, café, etc.; también productos pecuarios que son como las aves, porcino, bovino, caprino, ovino, leche, huevo, miel, cera; según el INEGI.

En su fauna se puede encontrar principalmente al coyote, zorrillo, venado, zorra, liebre, tlacuache, conejo, pato, torcaza y chachalaca. Se pueden encontrar animales como el alacrán, besuconas, armadillo, gavilán, serpiente de cascabel, entre otros.

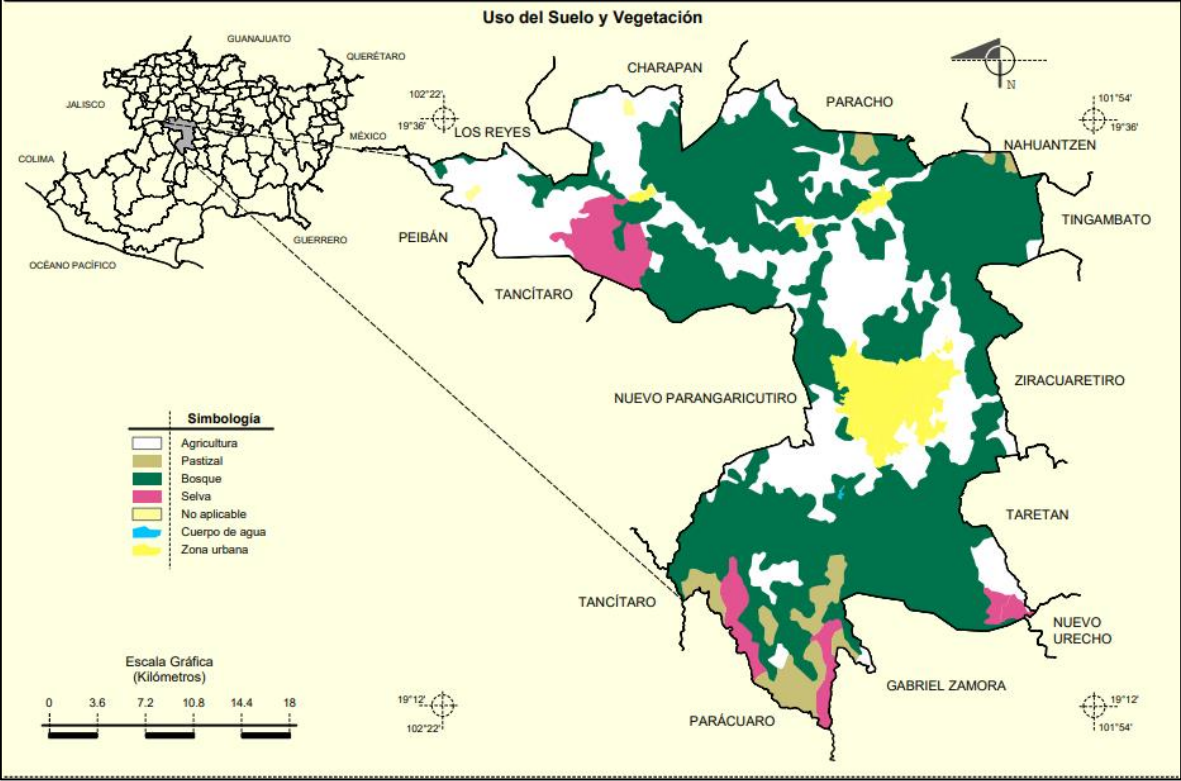


Imagen 3.5- Uso de suelo en Uruapan.

Fuente:www3.inegi.org.mx

3.4. Informe fotográfico.

A continuación, se presenta mediante el uso de fotografías, un mejor panorama del lugar de estudio, la calle de la realización del proyecto, la vista frontal del predio y los trabajos realizados en sitio.

En la siguiente fotografía se muestra la entrada a la Privada de Bruselas, tomada desde la calle principal Bruselas.



Foto 3.2.- Primera Privada de Bruselas.

Fuente: Propia.

De manera específica, el lugar donde se llevarán a cabo los trabajos de construcción del proyecto se presenta en las siguientes imágenes. El predio era un jardín con una pared en la parte frontal que fue demolido y a su vez se realizaron excavaciones para la iniciación de los trabajos.



Foto 3.3.- Vista frontal del lugar de los trabajos.

Fuente: Propia.

Como se muestra en la Foto 3.3, el edificio que se construirá colinda con dos residencias, pero los trabajos realizados no representan ningún problema a los vecinos ni al tránsito de vehículos.



Foto 3.4.- Área de la realización de los trabajos.

Fuente: Propia.

3.4.1. Problemática.

La ciudad de Uruapan está localizada en uno de los estados con mayor sismicidad ya que le pertenece la interacción de las placas oceánicas de Cocos y Rivera, cabe destacar que no es habitual el uso de contravientos u otros elementos que ayuden de los esfuerzos al momento del sismo.

3.4.2. Estado físico actual.

A continuación, se presenta, por medio de fotografías, el estado actual de la construcción de la edificación analizada en el proyecto.



Foto 3.5.- Estado físico actual de la superestructura.

Fuente: Propia.

En la imagen anterior, se muestran los trabajos de soldadura de perfiles en condiciones normales, con personal laborando.



Foto 3.6.- Montaje de perfiles en la superestructura.

Fuente: Propia.

Como se muestra, en las fotos 3.5 y 3.6, la construcción de la edificación se encuentra en una etapa avanzada, ya se encuentra realizada casi en su totalidad la conexión de las partes que conforman la superestructura, faltando solamente la colocación de la losacero y muros perimetrales y divisorios. A su vez se realizan otras actividades de limpieza con el fin de agilizar los trabajos realizados.

3.5. Solución y planteamiento de alternativas.

Para la optimización de una estructura bajo los diferentes tipos de solicitaciones, priorizando los efectos del sismo, se implementará, como se mencionó con anterioridad, el uso de contraventeos.

Para el diseño estructural se consideran ciertos principios básico, uno de ellos es la aceptación de un cierto nivel de daño en elementos estructurales ante la acción de los sismos, siempre y cuando no se ponga en riesgo la estabilidad de la estructura. El uso de contraventeos, es una herramienta que permite limitar el cortante sísmico ya que es introducido a la estructura y concentrar el daño en regiones específicas de la estructura.

Partiendo de lo dicho anteriormente, es importante que se dé a conocer el uso de contraventeos para las construcciones que se pueden realizar en el futuro en Uruapan, ya que ayudara a las superestructuras a soportar las acciones sísmicas, siendo una región en la que en cualquier momento se podría presentar sismos de grandes magnitudes.

3.6. Procesos de análisis.

Para el proceso de revisión y propuesta de la superestructura, se considera el Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF) complementándose con las Normas Técnicas Complementarias (NTC).

Se utilizará el software de diseño integral para edificaciones ETABS, en el cual es posible modelar, analizar, dimensionar, detallar y generar informes de la superestructura; en el caso de la revisión se tendrá de base la memoria de cálculo, planos estructurales y planos arquitectónicos, obtenidos de la constructora encargada Jamit Arquitectos S.C.; y así mismo generar las propuestas para el beneficio de la estructura como lo es el uso de contravientos.

CAPÍTULO 4

METODOLOGÍA

En este apartado se habla de la metodología de la investigación usada en la realización de esta tesis, abarcando: el método empleado, el enfoque de la investigación, el alcance de la investigación, el diseño de la investigación, al igual que los instrumentos utilizados en la recopilación de datos y la descripción del proceso de investigación.

4.1. Método empleado.

La investigación es un conjunto de procesos sistemáticos, críticos y empíricos que se aplican al estudio de un fenómeno. Esta investigación se llevó a cabo mediante el método científico ya que, se basa en lo empírico y en la medición, utiliza aspectos particulares de las leyes, axiomas, teorías, normas, etc., obteniendo resultados de aplicación práctica.

El método científico es un vínculo entre el conocimiento científico y la investigación científica. Tamayo (2004) menciona que el método científico es un conjunto de procedimientos por los cuales se plantean los problemas científicos poniendo a prueba las hipótesis y los instrumentos de trabajo, se caracteriza generalmente por ser tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica, y cuyo fin es dar explicación a los fenómenos a los que se está estudiando.

En otras palabras, el método no es otra cosa que la aplicación de la lógica a las realidades o hechos observados.

Tamayo (2004) citando a Ander-Egg (1993), señala las características más importantes del método científico indicando que cada una de ellas está en conexión y armonía con las otras.

- 1) Es fáctico: En el sentido de que los hechos son su fuente de información y de respuesta, es decir, tiene una referencia empírica.
- 2) Trasciende los hechos: Si bien el método científico parte del conocimiento de los hechos particulares, no se detiene en ellos, sino que los trasciende. Se podría decir que los científicos expresan la realidad para ir más allá de las apariencias.
- 3) Se atiene a las reglas metodológicas, pero no por ello desecha la intuición y la imaginación.
- 4) Verificación empírica: Se vale de esta para formular respuestas a los problemas planteados y para apoyar sus propias afirmaciones exigiendo una constante confrontación con la realidad.
- 5) Autocorrectivo: Va rechazando, corrigiendo o ajustando las propias conclusiones en la medida en que nuevos datos demuestren la existencia de algún error u omisión.
- 6) Progresivo: Al no tomar sus conclusiones como infalibles o finales, está abierto a nuevos aportes y a la utilización de nuevos procedimientos y técnicas.

- 7) Formulaciones de tipo general: No se trata de que el método científico ignore la cosa individual; lo que ignora es el hecho aislado, puesto que sus enunciados son universales y expresan el comportamiento o relación que guardan determinados fenómenos de una manera regular e invariable.
- 8) Es objetivo: Busca alcanzar la verdad fáctica, independientemente de la escala de valores y las creencias del científico. La objetividad no es solo captar el objeto tal como es, entre otras cosas, porque en la realidad no existen objetos de conocimiento sino hechos y fenómenos que se construyen.

4.1.1. Método matemático.

Indica Mendieta (1992), que en cualquier investigación que asiente números de relaciones constantes, variedad de hipótesis, diversidad de comprobaciones y éstas se tomen en cuenta para afirmar o negar algo, se está aplicando el método cuantitativo.

El método matemático es el genético que indica el origen del objeto, el número entero es originado por la adición indefinida de la unidad a sí misma. Las investigaciones en las cuales se advierten matices diferenciales, cambios graduales, referencias de tiempo análisis de unos factores por otros, se está aplicando el método comparativo.

En esta investigación es necesario el uso del método matemático ya que, se usan procesos matemáticos de análisis y relación numérica para comprobar o refutar las preguntas de investigación propuestas.

4.2. Enfoque de la investigación.

A lo largo de la historia han surgido diversas corrientes de pensamiento y diversos marcos interpretativos que han originado diferentes rutas en la búsqueda del conocimiento. Desde el siglo pasado tales corrientes se han “polarizado” en dos aproximaciones principales para indagar: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo de la investigación.

Según Grinnell (1997), ambos enfoques emplean procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en su esfuerzo por generar conocimiento, por lo que de definición previa de investigación se aplica a los dos por igual, y utilizan en términos generales, cinco fases similares y relacionadas entre sí.

- 1) Llevan a cabo la observación y evaluación de fenómenos.
- 2) Establecen suposiciones o ideas como consecuencia de la observación y evaluación realizadas.
- 3) Demuestran el grado en que las suposiciones o ideas tienen fundamento.
- 4) Revisan tales suposiciones o ideas sobre la base de las pruebas o del análisis.

- 5) Proponen nuevas observaciones y evaluaciones para esclarecer, modificar y fundamentar las suposiciones e ideas; o incluso para generar otras.

4.2.1. Enfoque cuantitativo.

Partiendo de lo dicho por Hernández y colaboradores (2014), el enfoque cuantitativo, que a su vez es una serie de procesos, es secuencial y probatorio. Cada etapa precede a la siguiente por lo que el orden es riguroso sin embargo se puede redefinir alguna fase. Usa la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías. Parte de una idea que se va delimitando lo que derivará objetivos y preguntas de investigación, estas preguntas a su vez establecen hipótesis y determinan variables; se traza un plan para probarlas; después se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas utilizando métodos estadísticos y finalmente se extra una serie de conclusiones con respecto a la o las hipótesis.

En base con lo anteriormente mencionado, se puede decir que el enfoque de esta investigación será cuantitativo debido a que se realizara un análisis y diseño de una superestructura de acero, y se llevaran a cabo preguntas de investigación, recopilación de datos, ideas, comprobaciones y correcciones, repitiendo esto de manera cíclica hasta llegar al resultado deseado. Por estos motivos se usará el enfoque cuantitativo siendo el que mejor cumple los requerimientos de esta investigación.

4.2.2.- Alcance de la investigación.

Menciona Hernández y colaboradores (2014), que un estudio cuantitativo puede tener cuatro tipos de alcances:

- 1) Alcance exploratorio: Su propósito es comenzar a conocer una variable o un conjunto de variables, una comunidad, un contexto, un evento, una situación. Se emplean cuando el objetivo consiste en examinar un tema poco estudiado o novedoso.
- 2) Alcance descriptivo: Busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice.
- 3) Alcance correlacional: Estos diseños describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado. Pueden limitarse a establecer relaciones entre variables sin precisar sentido de causalidad o pretender analizar relaciones causales.
- 4) Alcance explicativo: Pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian, es decir, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o porque se relacionan dos o más variables.

Esta investigación se basa en un alcance descriptivo ya que únicamente pretende medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o variables a las que se refieren sin indicar como se relacionan éstas. Los estudios descriptivos son útiles para mostrar con precisión los ángulos o dimensiones de un fenómeno, suceso, comunidad, contexto o situación.

Por tal motivo, en esta tesis se usa el alcance descriptivo debido a que se recolecta información sobre los materiales utilizados, sus características, los procesos y métodos de análisis y diseño, entre otros; por lo que es favorable usar este alcance para llevar a cabo este proyecto.

4.3. Diseño de la investigación.

Una vez que se precisó el planteamiento del problema y se definió el alcance de la investigación, Hernández y colaboradores (2014) sugiere que se debe visualizar la manera práctica y concreta de contestar las preguntas de investigación, además de cumplir con los objetivos fijados. En el enfoque cuantitativo, el investigador utiliza sus diseños (planes o estrategias para obtener información) para aportar evidencias respecto de los lineamientos de la investigación, por lo que, la calidad de una investigación se relaciona con el grado en que se aplique el diseño tal como fue concebido. Para fines prácticos se tienen dos tipos de diseño: experimental y no experimental. En esta tesis se usa el diseño no experimental.

4.3.1. Diseño no experimental.

En base a Hernández y colaboradores (2014), podría definirse como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios donde no hacemos variar en forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Lo que hacemos en la investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para posteriormente analizarlos.

En un estudio no experimental no se genera ninguna situación, sino que se observan situaciones ya existentes, no provocadas intencionalmente en la investigación por quien la realiza. En la investigación no experimental las variables independientes ocurren y no es posible manipularlas, no se tiene control directo sobre dichas variables ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

Además, los estudios no experimentales se pueden dividir en transeccionales-transversales y en longitudinales. Esta investigación se realiza en base a un diseño transversal ya que describe variables y analiza su incidencia.

4.3.2.- Investigación transversal.

“Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.” (Hernández y colaboradores; 2014: 154)

La recolección de datos puede abarcar varios grupos o subgrupos de personas, objetos o indicadores; así como diferentes comunidades, situaciones o eventos. Pero siempre, la recolección de datos ocurre en un momento único.

4.4. Instrumentos de recopilación de datos.

El presente trabajo de investigación recurrió a los siguientes instrumentos o herramientas definidos a continuación; las cuales, su función es la recolección de los

datos obtenidos en el proceso de investigación y así cumplir con el objetivo principal del trabajo de investigación de tesis:

- 1) AutoCAD: Software utilizado para el diseño de todo tipo de dibujos en 2D y modelado en 3D asistido por computadora. Esta herramienta de dibujo permite la creación de planos arquitectónicos, estructurales, de cimentación, de instalaciones (eléctrica, sanitaria y de gas), entre otros; facilitando el planteamiento del diseño propuesto no solo del ingeniero civil, sino también del arquitecto, ingeniero industrial, etc. Siendo esto por lo cual es utilizado además de ser el programa más eficaz en su tipo.
- 2) ETABS: Software de diseño integral para edificaciones, en el cual es posible modelar, analizar, dimensionar, detallar y generar informes. El manejo de dicho programa es muy versátil ya que cuenta con una amplia selección de plantillas para iniciar rápidamente un nuevo modelo o predefinir las secciones de los elementos estructurales y acciones uniformes, así como el peso propio y sobrecarga, entre otras cosas más. Por esto se decide utilizar dicho software para el análisis y diseño estructural.
- 3) Excel: Software diseñado por la empresa Microsoft, destinado a la creación, modificación y manejo de hojas de cálculo. Debido a la gran gama de funciones y herramientas que posee, como la creación de bases de datos, registros detallados de diversas informaciones de forma ordenada gracias a sus sistemas por medio de casillas, es útil en ingeniería civil, así como en otros campos. Se elige dicho programa ya que es

compatible para importar o exportar bases de datos a otros softwares como lo son AutoCAD o ETABS de una forma muy versátil.

4.5. Descripción del proceso de investigación.

El proceso inicia con una investigación bibliográfica, en la cual permite definir las variables que se tienen como objeto de estudio, para así fundamentar el contenido de la presente tesis, a través de las opiniones de los autores señaladas con citas textuales y paráfrasis con cortesía.

Después se prosigue con la revisión y propuesta de los cálculos estructurales de un edificio de acero, a través de las herramientas definidas anteriormente que facilitaran el proceso de análisis y diseño estructural. La revisión de la estructura resultó un proceso más sencillo al tener las dimensiones y tipo de material definido.

La propuesta estructural obtuvo un proceso más meticuloso, ya que el diseño y análisis puede llegar a ser de una forma cíclica hasta obtener el resultado satisfactorio.

Para concluir, por medio de los anexos se incluyó los planos, cálculos estructurales, resultado de la revisión y propuesta, entre otros documentos que enriquecen el proceso de investigación, así como la bibliografía en donde se muestran los libros en los que se sustenta dicha tesis, incluyendo los datos del autor para que personas externas que consulten las tesis, al observar una cita textual o paráfrasis con cortesía pueda encontrar la información de forma sencilla.

CAPÍTULO 5

CÁLCULO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se mencionan los resultados de la investigación obtenida, haciendo énfasis en los cálculos, métodos y procedimientos por los cuales se analizó, revisó y diseñó la superestructura, cumpliendo el objetivo principal de esta tesis.

5.1. Descripciones y consideraciones generales.

El proyecto de la superestructura está conformado por cuatro niveles estructurales, destinados para el uso de oficinas y un cuarto para el uso de escaleras en la planta de azotea. El edificio se comprende de cuatro niveles, teniendo como dimensiones 13.85 metros de altura, siendo la planta baja la única en diferencia con las demás con una altura de 3.05 metros, mientras que las demás tienen una altura de 3.60 metros. A su vez cuenta con un largo de 44.55 metros y en la vista frontal del edificio, un ancho de 10 metros.

El sistema estructural de este edificio es a base de marcos, formados con columnas y trabes; como se mencionó anteriormente sólo se revisó la superestructura del edificio, por lo que el único material estructural para los elementos será el acero y el concreto utilizado en la losacero.

A continuación, se mencionan las especificaciones del material y los perfiles utilizados en la superestructura:

- 1) Para las columnas se manejan tres diferentes secciones de HSS, mostradas en la siguiente tabla, las cuales son de acero A500-B con límite de fluencia de 3235 kg/cm^2 .

COLUMNA	SECCIÓN
C-1	HSS 12" X 12" X 3/8"
C-2	HSS 8" X 8" X 1/4"
C-3	HSS 6" X 6" X 1/4"

Tabla 5.1.- Secciones HSS en columnas.

Fuente: Propia.

- 2) En las traveses se manejan cuatro diferentes secciones W, como se muestra en la siguiente tabla, las cuales son de acero A992-50 con límite de fluencia de 3515 kg/cm^2 .

TRABE	SECCIÓN
T-1	W 21" X 6 1/2" X 65.5 kg/m
T-2	W 18" X 6" X 52.10 kg/m
T-3	W 16" X 5 1/2" X 38.7 kg/m
T-4	W 12" X 4" X 20.8 kg/m

Tabla 5.2.- Secciones W en traveses.

Fuente: Propia.

- 3) Para los montenes se manejaron dos secciones diferentes, siendo MT e IPR, de acero A500-GRC con límite de fluencia de 3522 kg/cm^2 , como se señala en la siguiente tabla.

MONTÉN	SECCIÓN
S-1	6 MT 14
S-2	PTR 6" x 4"

Tabla 5.3.- Tipo de secciones en montenes.

Fuente: Propia.

- 4) Para la losacero se utiliza una sección 4 calibre 24 de acero A653 cuyo límite de fluencia es de 2320 kg/cm^2 , con 5 cm de concreto con una resistencia del concreto de 250 kg/cm^2 en la capa de compresión.

Para el uso de fórmulas y factores de análisis y diseño de esta tesis, se usará como herramienta las Normas Técnicas Complementarias (NTC) para las construcciones en acero. A su vez para las cargas necesarias en los cálculos como son: cargas muertas, cargas vivas y cargas accidentales, las NTC cuenta con un apartado dando valores dependiendo de las condiciones en específico.

5.2. Modelación de la estructura.

Para la revisión de la superestructura es necesario hacer el modelo con los datos del plano estructural obtenidos de la constructora a cargo, ingresando la información como se define a continuación en el programa de ETABS.

Se requiere tener líneas de referencia, o sea una rejilla. Esta rejilla se realiza con un sistema coordenado, en este caso se utiliza el sistema cartesiano para el dibujo de los ejes y así formar la cuadrícula, como se muestra en la siguiente imagen:

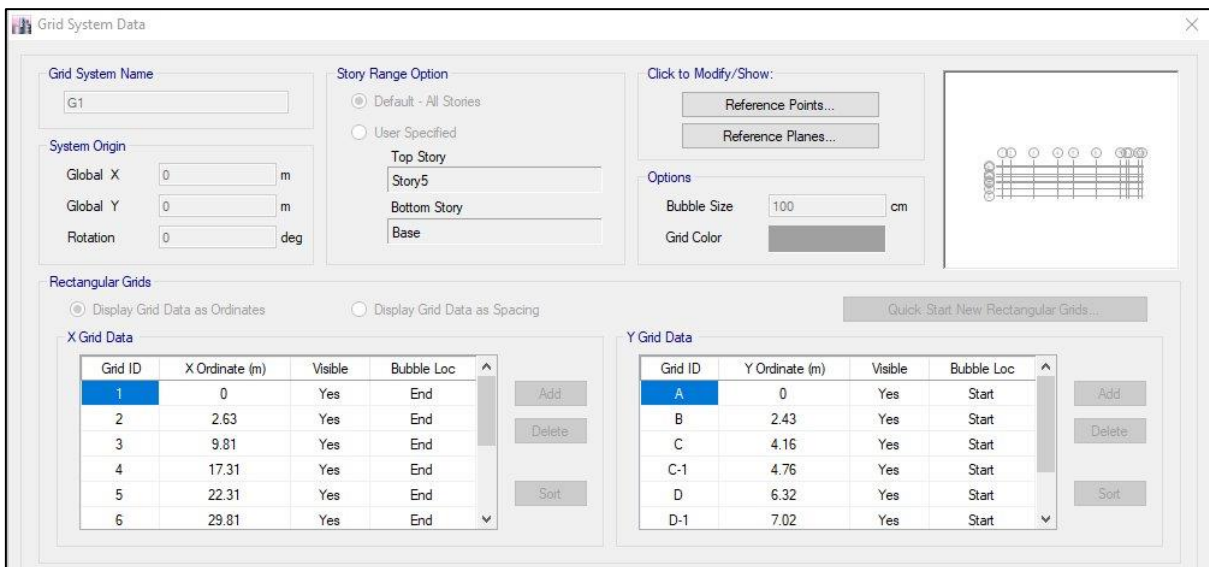


Imagen 5.1.- Dibujo de ejes a través de coordenadas.

Fuente: ETABS.

Una vez la cuadrícula hecha, se prosigue con la definición de los materiales que se han mencionado con anterioridad, en donde se agregan las especificaciones

de cada uno como: el nombre del material, tipo de material, peso por unidad, masa por unidad, así como sus propiedades mecánicas y esfuerzos; mostrados en las imágenes a continuación:

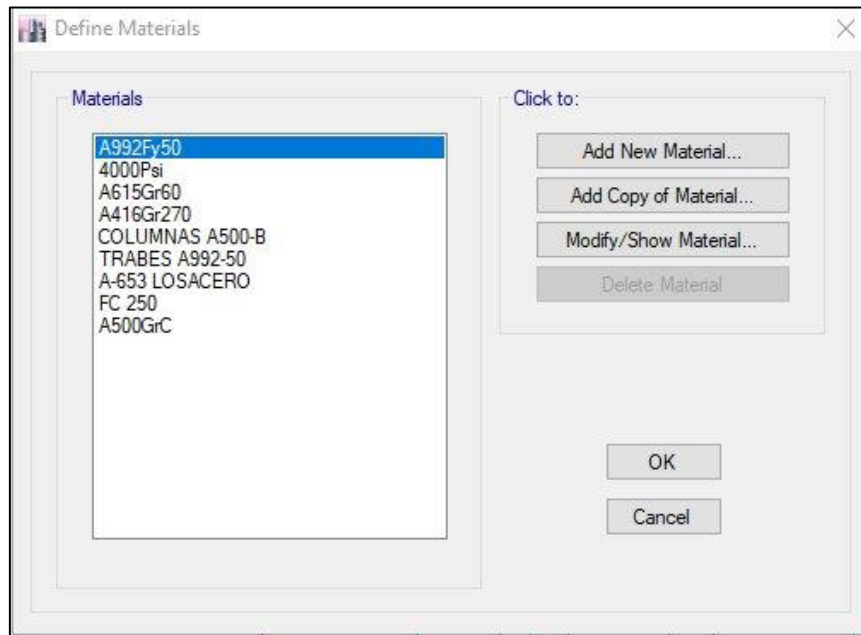


Imagen 5.2.- Definir materiales.

Fuente: ETABS.

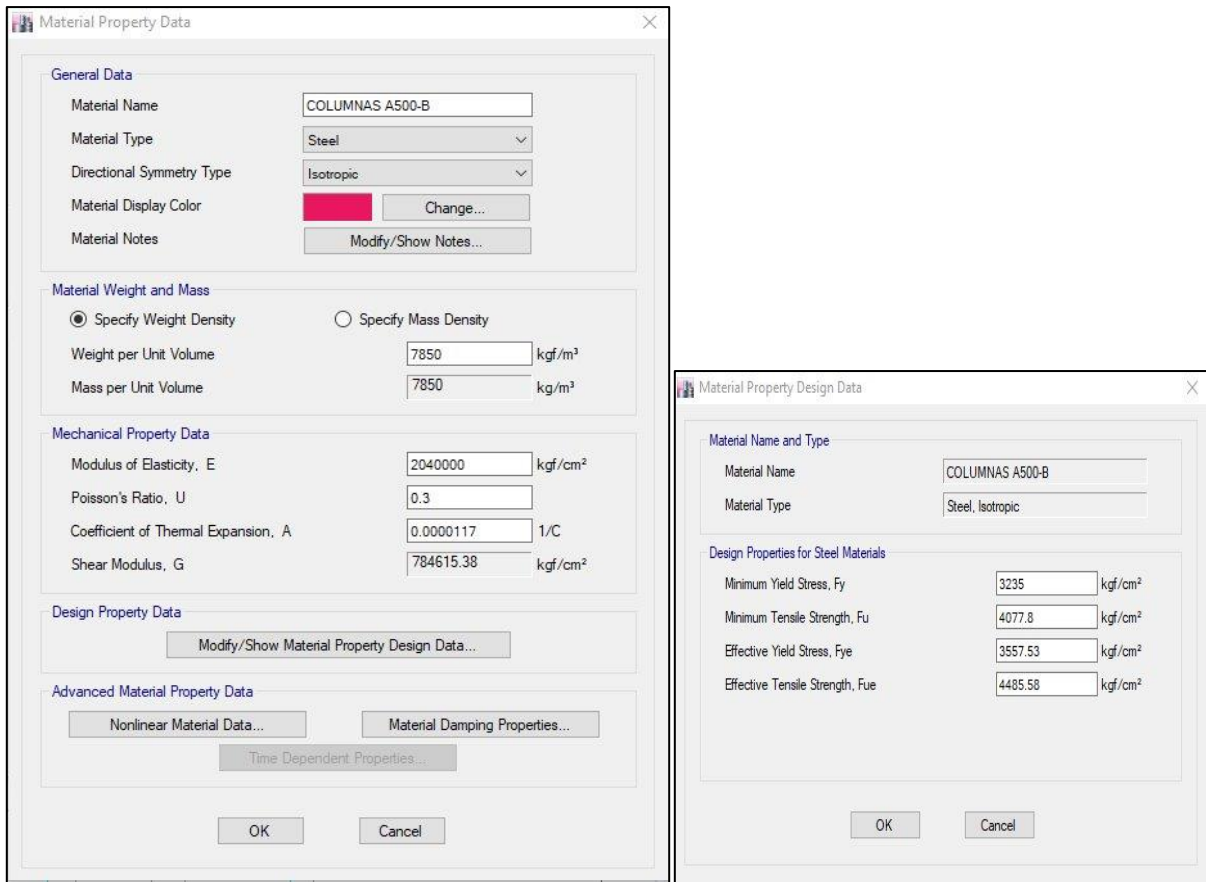


Imagen 5.3.- Definición de las propiedades de los materiales (para columnas).

Fuente: ETABS.

Con los materiales agregados, se definen las propiedades de las secciones que conformaran a los elementos estructurales, en donde se le define el nombre, tipo de material (realizado anteriormente), así como el tipo y dimensiones de la sección.

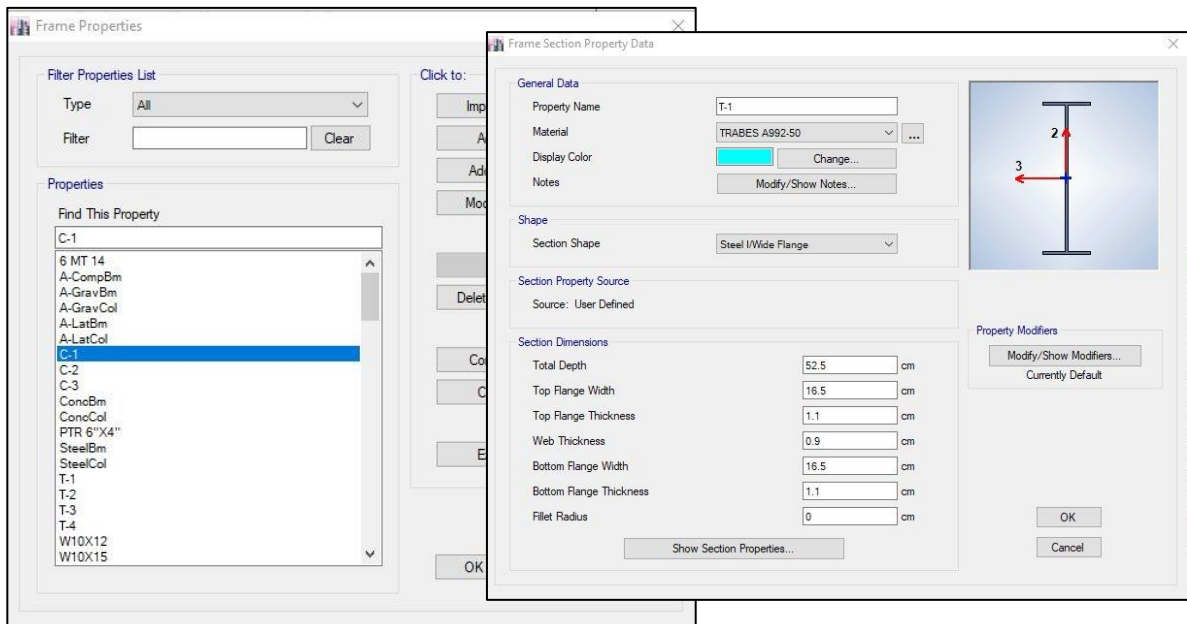


Imagen 5.4.- Propiedades de las secciones.

Fuente: ETABS.

Una vez definidos los materiales y las secciones de los elementos estructurales, se prosigue a la realización de la estructuración del edificio en base a la cuadrícula que se realizó y apoyándose en los planos arquitectónicos y estructurales, obviando características que no sean necesarias para el cálculo y análisis de la superestructura.

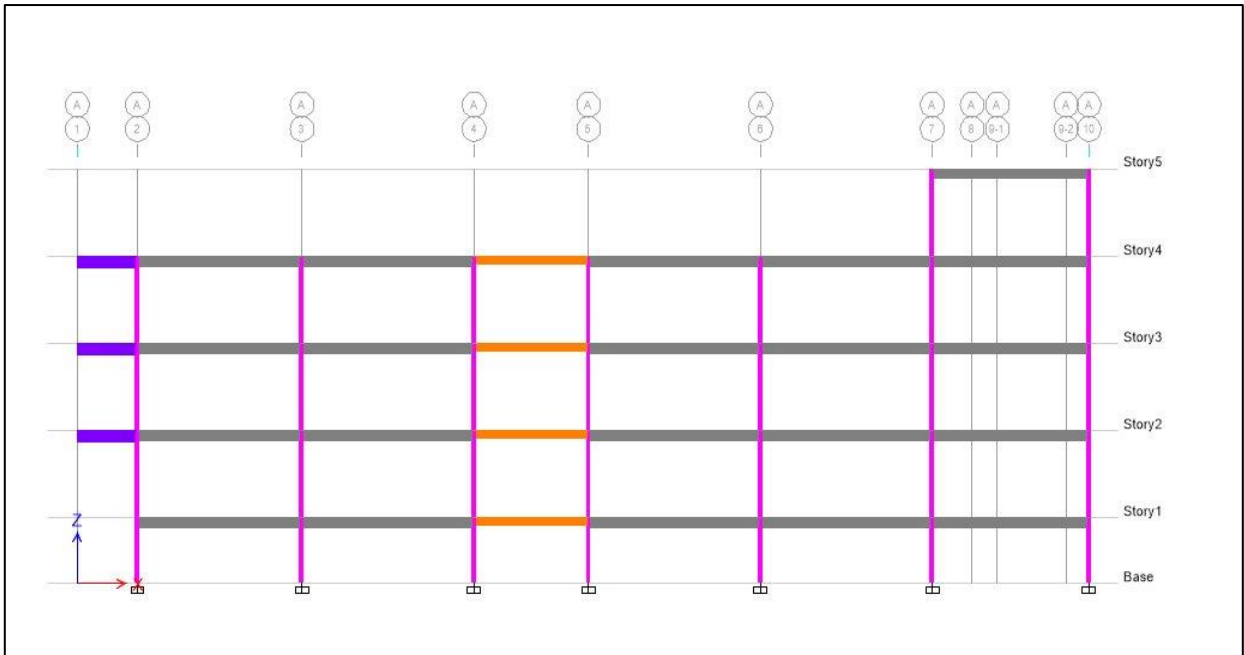


Imagen 5.5.- Alzado en eje A.

Fuente: ETABS.

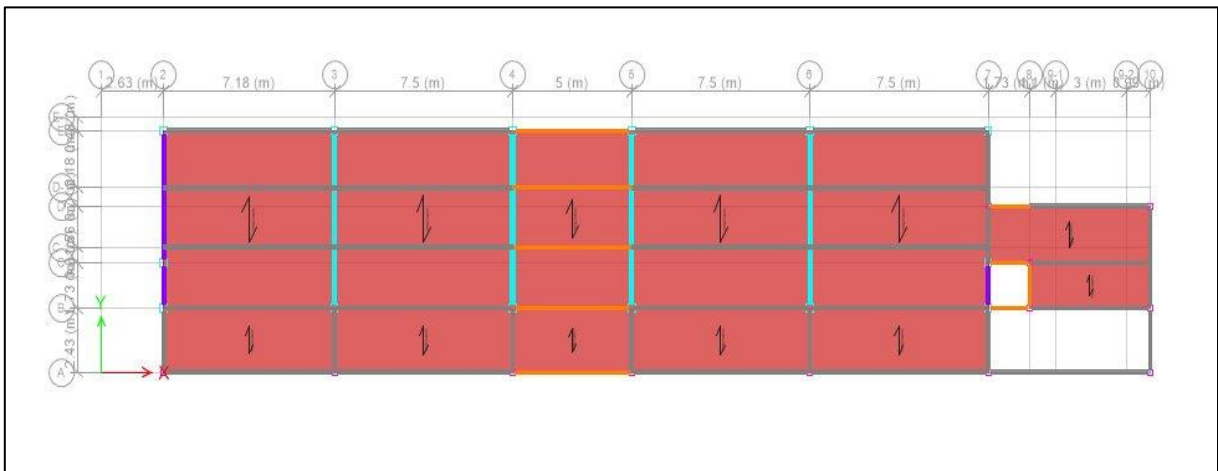


Imagen 5.6.- Vista en planta del primer nivel.

Fuente: ETABS.

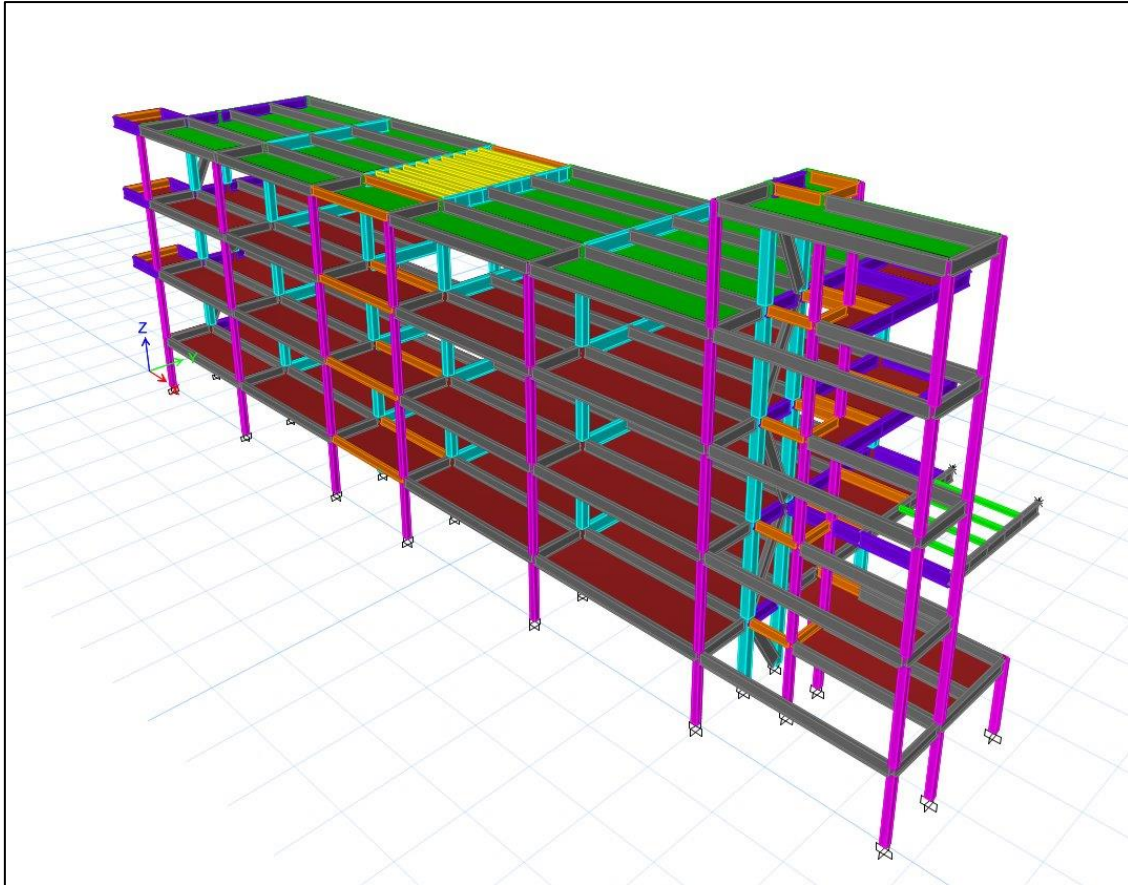


Imagen 5.7.- Vista en 3D de la superestructura.

Fuente: ETABS.

Dibujados todos los elementos estructurales que conforman la superestructura, se comienzan a definir los diferentes tipos de cargas, como la carga viva, carga muerta, carga viva accidental y sismos; una vez definidas poder realizar los diferentes tipos de combinaciones de carga.

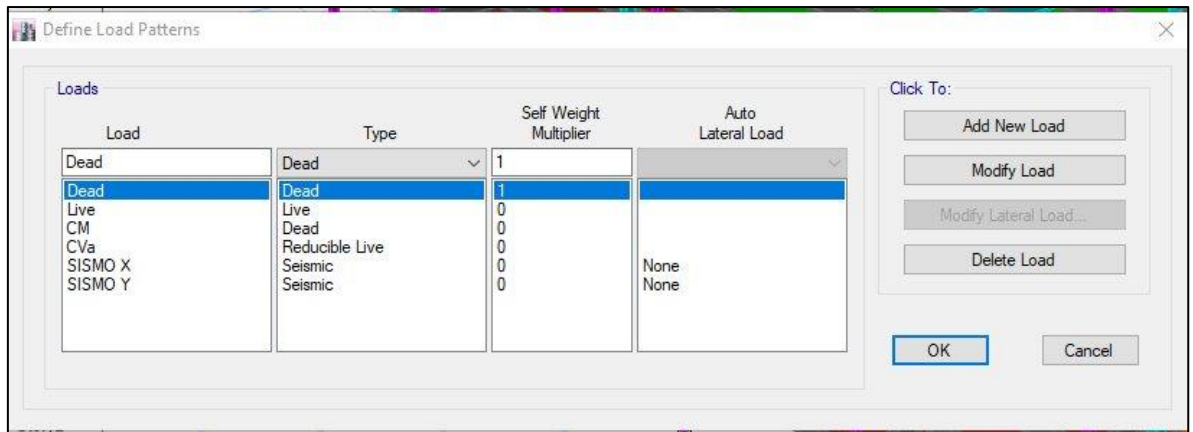


Imagen 5.8.- Definición de tipos de cargas.

Fuente: ETABS.

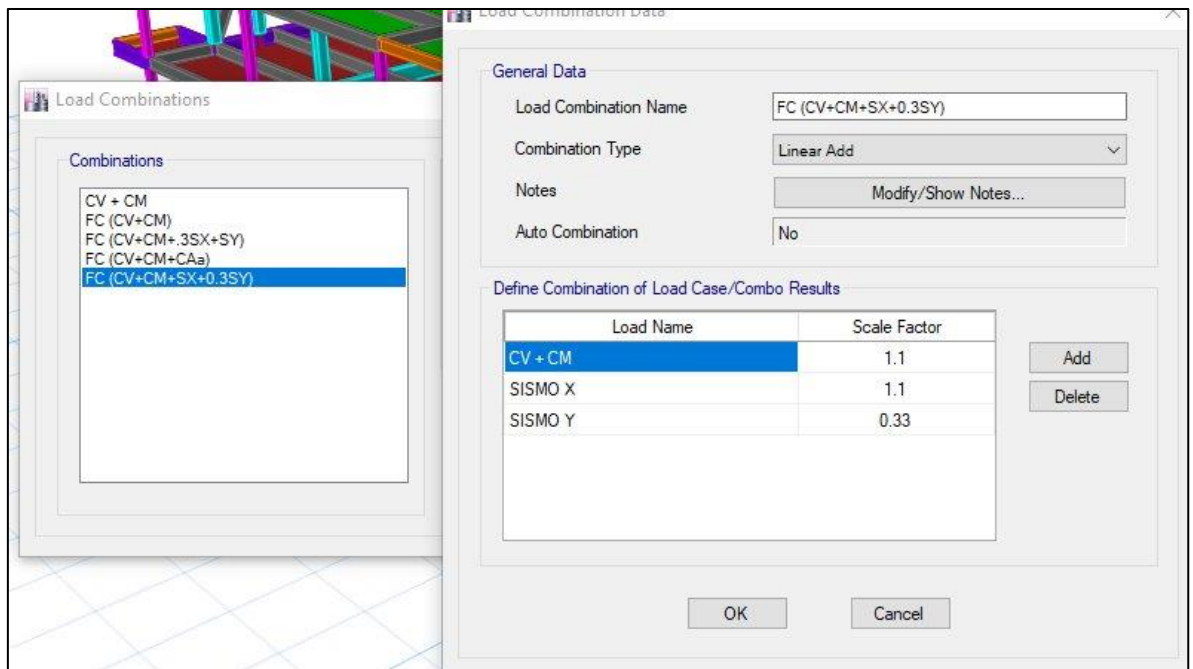


Imagen 5.9.- Combinaciones de cargas.

Fuente: ETABS.

Después se definen los espectros de respuesta sísmicos de acuerdo al tipo de suelo y zona en la que se encuentre, datos no calculados sino obtenidos de la memoria de cálculo.

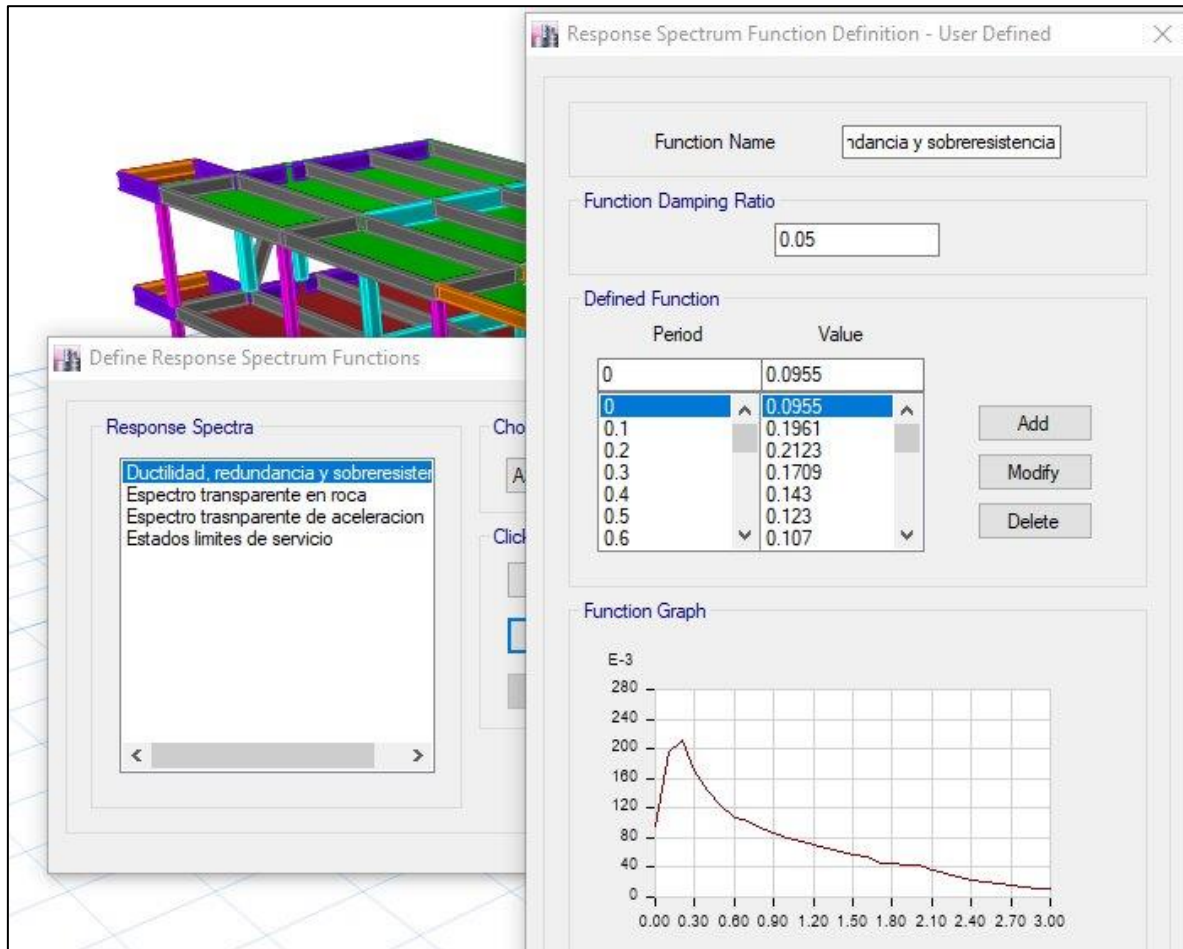


Imagen 5.10.- Definir espectro de respuesta.

Fuente: ETABS.

Se realiza la colocación de cargas, solo se utilizarán las que provienen de la memoria de cálculo obtenida por la constructora encargada del proyecto, a su vez, dichas selecciones de cargas se respaldan con las NTC.

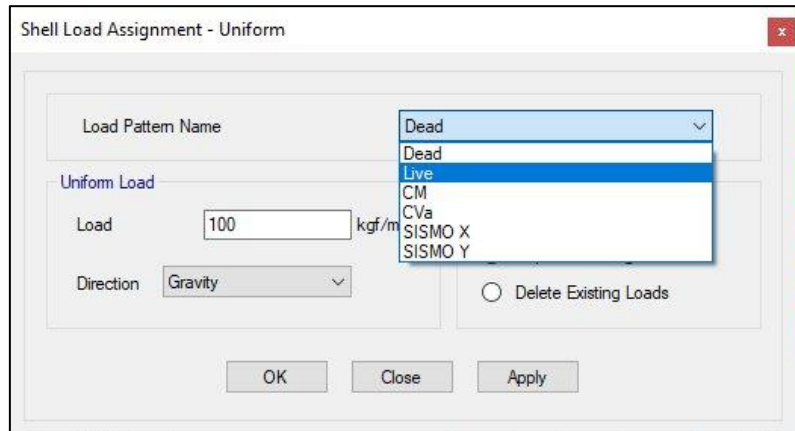


Imagen 5.11.- Asignación de cargas.

Fuente: ETABS.

Se definen los patrones de carga que producen la masa para el cálculo de las fuerzas sísmicas.

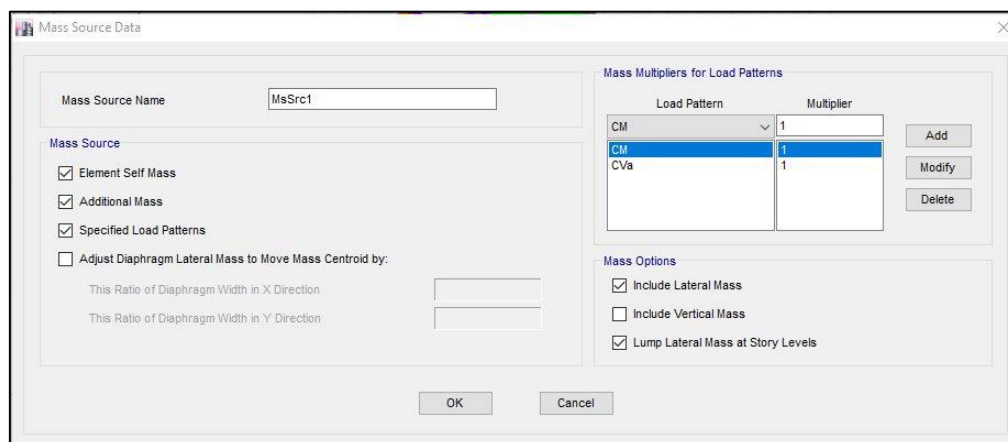


Imagen 5.12.- Valor de la masa para las cargas.

Fuente: ETABS.

5.3. Validación del modelo a revisar.

Se ha utilizado el programa de ETABS como herramienta para el diseño del modelo matemático, ya que para distintos trabajos de investigación se ha corroborado su eficacia, no obstante para dicho trabajo de investigación se realiza la validación del modelo a través de los parámetros mostrados a continuación y criterio del diseñador para realizar la aprobación del programa con los resultados obtenidos.

El primer parámetro a evaluar son las deformaciones verticales, se debe analizar con el factor actuante de las cargas muertas (CM) más las cargas vivas (CV), en donde el programa ETABS por medio de coordenadas ubica el valor máximo de dichas deformaciones, dando como resultado 1.487 cm en el extremo de la trabe en donde intersectan los ejes D-1 y 9-1 en el cuarto nivel. No existe para este parámetro un valor fijo en el cual se considera aceptable, tal que para aceptar el resultado es a criterio del ingeniero, en dicho trabajo se considera aceptable.

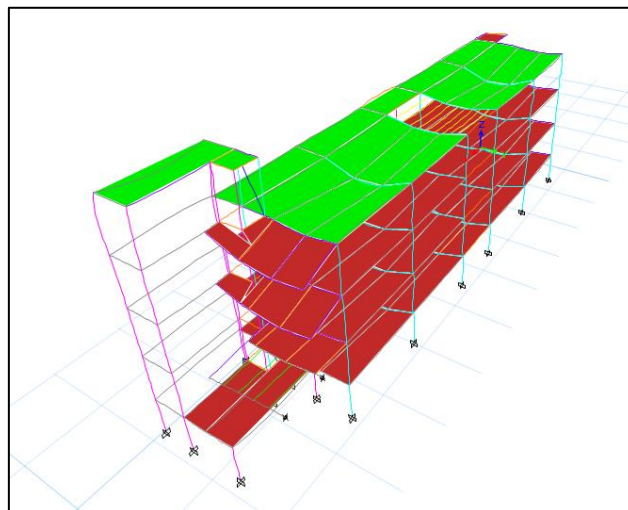


Imagen 5.13.- Deformaciones con CM+CV.

Fuente: ETABS.

El siguiente parámetro a evaluar son los valores del análisis modal, en donde se verifica el periodo dominante, cuyo valor da como resultado 1.114 s. De acuerdo con la Norma Venezolana (2001), existe una fórmula en donde se permite conocer el valor del periodo de vibración aproximado, en donde este debe de ser mayor al obtenido cuando se calculan las fuerzas sísmicas, como se señala a continuación:

$$T < 1.6 T_a$$

$$T_a = 0.08H^{0.75}$$

Donde: T_a es igual al periodo de vibración aproximado.

Sustituyendo en la fórmula de T_a la altura total de la edificación, siendo 17.45 m y multiplicado por el factor de 1.6 da como resultado 1.09 s, siendo este menor a 1.114 s, por lo tanto, se considera aceptable.

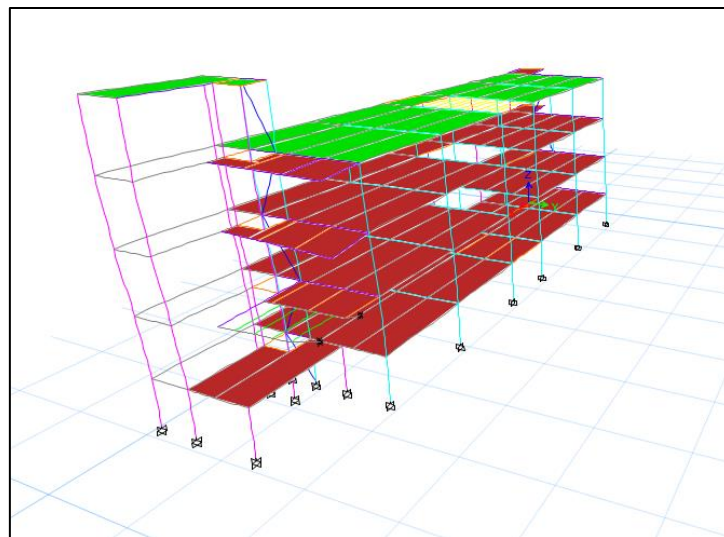


Imagen 5.14.- Periodo de vibración dominante.

Fuente: ETABS.

Una vez evaluados las deformaciones y periodos de vibración, se prosigue con el factor de participación de masas, el cual la sumatoria en X y Y deben pasar el 95% para considerarse aceptable. En dicho estudio la sumatoria en X, se obtiene un valor de 99.88%, por lo que se considera aceptable; en el caso de Y, se registra un valor de 95.17%, por lo tanto, es aceptable.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY	Sum UZ
Modal	1	1.114	0.7148	1.317E-05	0	0.7148	1.317E-05	0
Modal	2	0.861	2.941E-05	0.7361	0	0.7149	0.7361	0
Modal	3	0.725	0.0016	0.0222	0	0.7165	0.7582	0
Modal	4	0.498	0.0005	0.001	0	0.717	0.7592	0
Modal	5	0.37	0.1585	0.0001	0	0.8755	0.7593	0
Modal	6	0.274	0.0007	0.1327	0	0.8762	0.892	0
Modal	7	0.246	0.0241	0.0019	0	0.9003	0.8939	0
Modal	8	0.219	0.0006	0.001	0	0.9009	0.8949	0
Modal	9	0.199	0.0597	0.0003	0	0.9606	0.8952	0
Modal	10	0.187	4.284E-05	4.647E-05	0	0.9606	0.8952	0
Modal	11	0.168	0.0001	0.0564	0	0.9607	0.9517	0
Modal	12	0.145	0.0381	2.187E-05	0	0.9988	0.9517	0

Imagen 5.15.- Factor de participación de masas.

Fuente: ETABS.

5.3.1. Revisión de la estructura original.

Una vez que se tiene la validación de la estructura se prosigue con la revisión de esta, enfocándose en los elementos estructurales, así como las distorsiones angulares que la conforman, como se definen en los siguientes subtemas.

5.3.1.1. Revisión de los elementos estructurales.

Se realizó el cálculo de elementos de acero en el programa ETABS, en el apartado de Diseño de Marcos de Acero modificando características para que la superestructura trabajara como OMF (Ordinary Moment Frame) cuya traducción es Marcos de Momento Ordinario, además de seleccionar las combinaciones de cargas de diseño y dividir las en combinaciones de carga y combinaciones de deflexión.

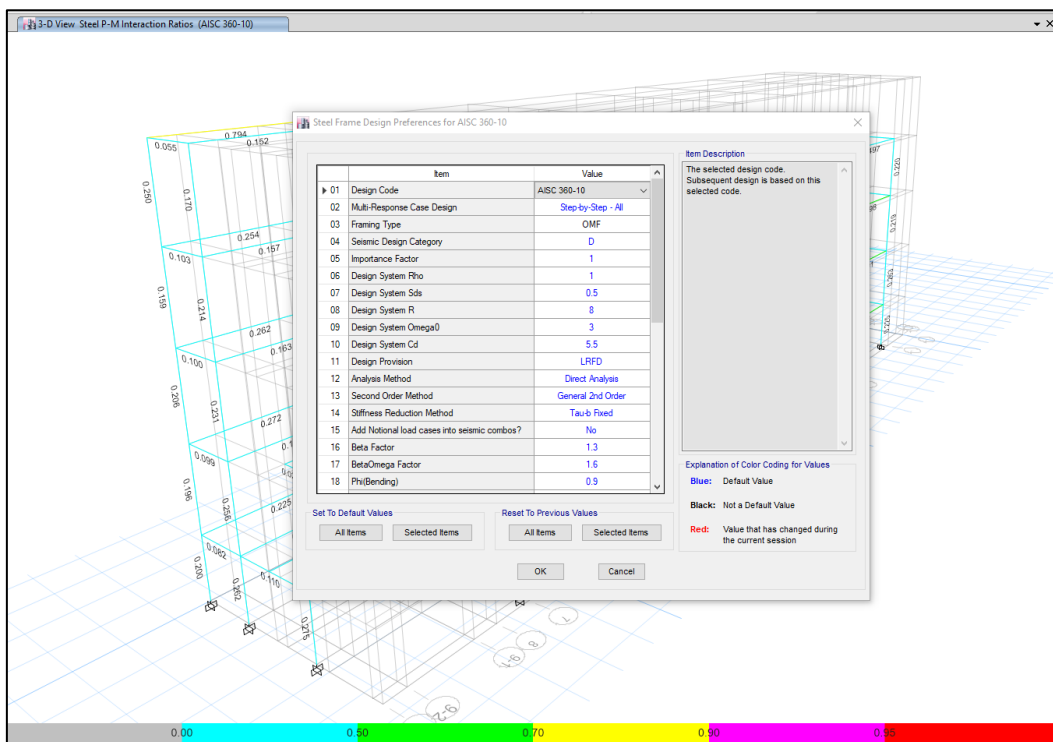


Imagen 5.16.- Preferencias de diseño de marcos de acero.

Fuente: ETABS.

Una vez definidas las características para el análisis de marcos de acero, el programa procede a realizar el análisis y diseño de todos los elementos estructurales que actúan en la superestructura, a partir de aquí cada elemento tiene un valor y en la parte inferior se encuentra un parámetro para evaluar cada elemento. Si el valor es inferior a 1.00 significa que las cargas que recibe son inferiores a las que resiste al 100% de su trabajo normal, si el valor por el contrario excede el 1.00 significa que el elemento está trabajando por encima de su capacidad.

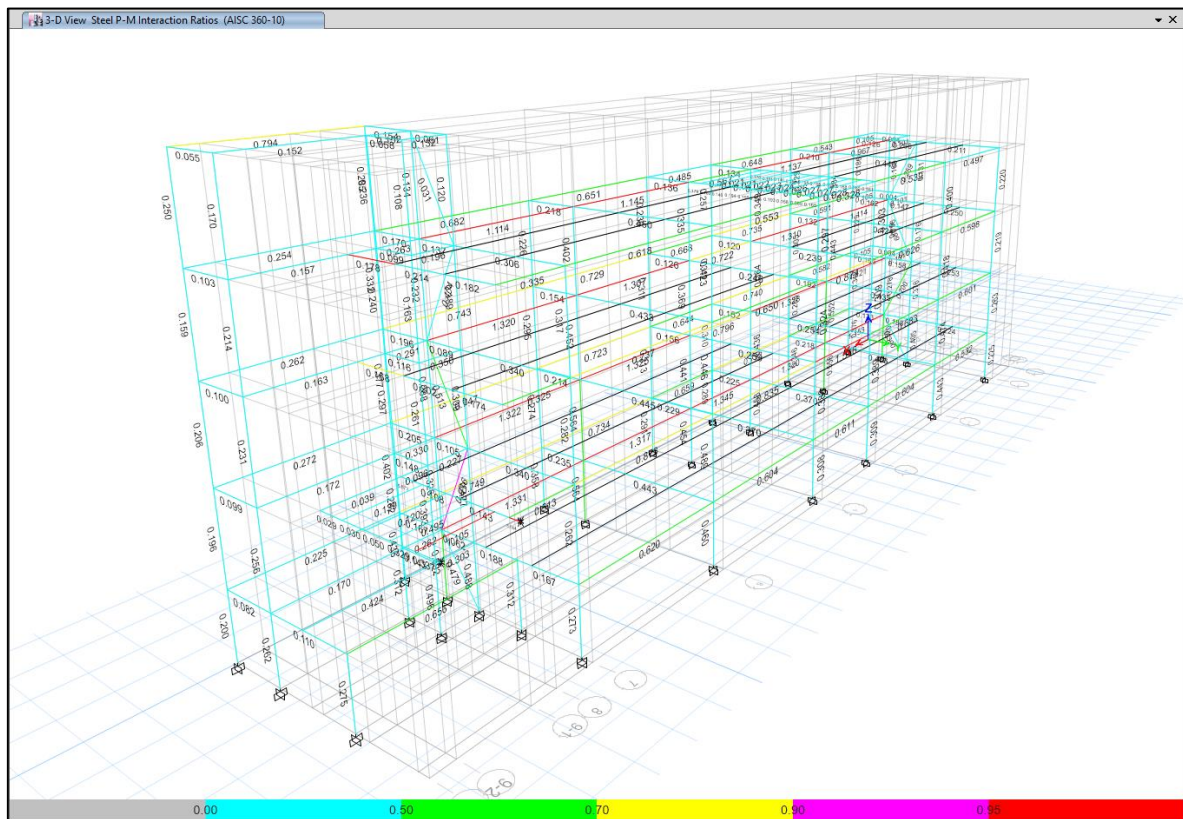


Imagen 5.17.- Valores de diseño de los elementos estructurales.

Fuente: ETABS.

Para el análisis de traveses se consideraron los diagramas de momento arrojados por el programa, siendo la combinación de F.C (Cv + Cm) la de valores más altos en este esfuerzo mecánico.

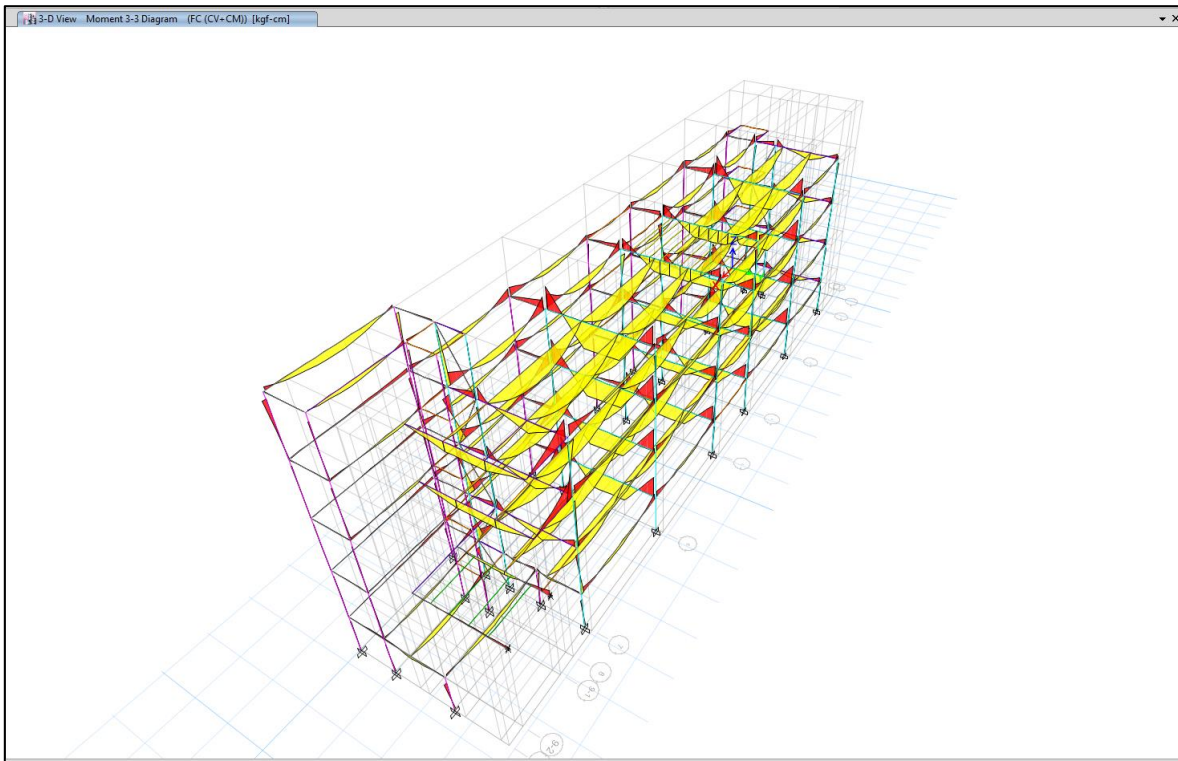


Imagen 5.18.- Diagramas de momento de la superestructura.

Fuente: ETABS.

Se realizó la revisión de los elementos estructurales usando el método de diseño de elementos en flexión con las Normas Técnicas Complementarias. Se propuso el análisis de los elementos mostrado en la siguiente imagen ya que resultan ser los elementos T-3 y T-4 con mayor esfuerzo a la flexión, ubicados en el segundo nivel.

Cabe destacar que en el caso del elemento T-3 ubicado sobre el eje B, sus valores son escasos en los cuatro niveles, caso contrario del elemento T-4, el cual se ubica entre el eje cuatro y cinco sobre el eje E, en donde solo es escaso en el segundo nivel.



Imagen 5.19.- Vista en planta del segundo nivel mostrando los valores de diseño de los elementos estructurales.

Fuente: ETABS.

A continuación, se muestran los diagramas de cortante y de momento de los elementos a revisar.

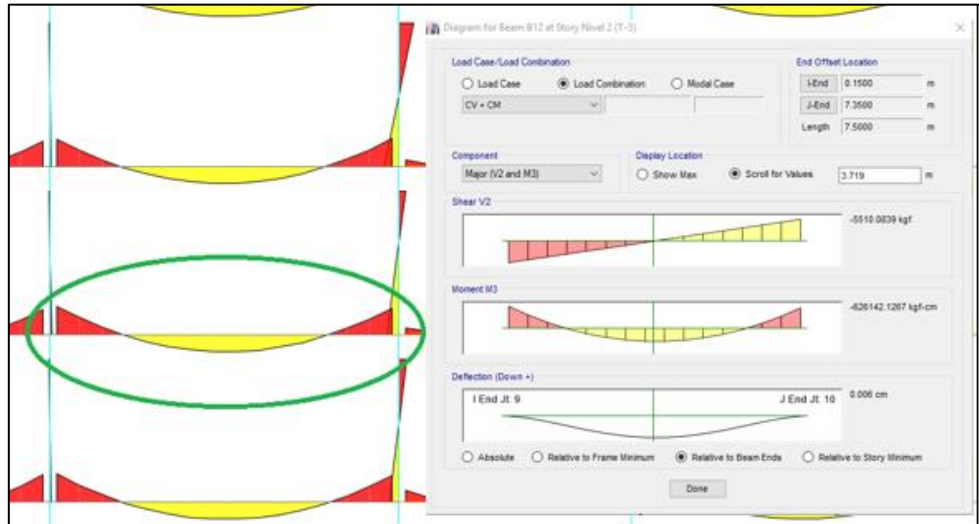


Imagen 5.20.- Diagrama de momento de elemento T-2.

Fuente: ETABS.



Imagen 5.21.- Diagrama de momento de elemento T-2.

Fuente: ETABS.

ETABS calcula el Momento ultimo (M_u) al multiplicar el momento positivo mayor actuante en el perfil por un factor de carga de 1.4. Mientras que el Momento resistente (M_R o ϕM_n) lo calcula dependiendo de las características de la sección y del material.

El valor obtenido mediante el diseño en el programa ETABS, siendo este para los elementos de 1.355 (T-3) y 1.550 (T-4), concluye los elementos en cuestión trabajan al 135-136% y 155% de su capacidad. Asimismo, la revisión de los demás elementos estructurales de este tipo se realizó de la misma manera.

A su vez existen elementos de eje recto y sección transversal constante, con dos ejes de simetría, sujetos a compresión y a flexión producida por momentos que obran alrededor de sus ejes de simetría, Estos elementos se designan como columnas o elementos flexocomprimidos.

Se propuso el análisis del elemento mostrado en la siguiente imagen ya que, resulto ser el elemento columna C-1 con mayor resistencia actuante tanto a la flexión como a la compresión, ubicado en el eje B con el eje 7 en el primer nivel.

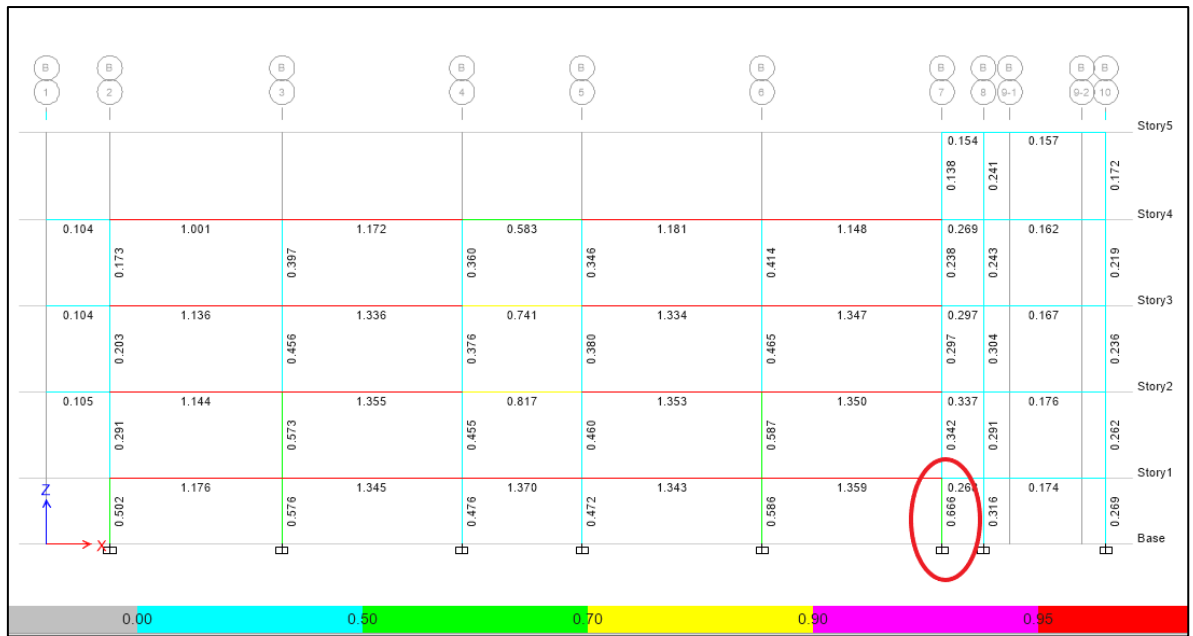


Imagen 5.22.- Vista en corte del Eje B mostrando los valores de diseño de los elementos estructurales.

Fuente: ETABS.

A través del modelo ETABS se analizó la superestructura con cada una de las combinaciones de carga, encontrándose que la combinación más desfavorable en conjunto fue FC (CV+CM+Sx+0.3Sy).

Se obtuvo un valor mediante el diseño en el programa ETABS, siendo este de 0.666, concluyéndose que el elemento en cuestión trabaja al 65-66% de su capacidad. Igualmente, la revisión de los demás elementos estructurales de este tipo se realizó de la misma manera.

5.3.1.2. Distorsión angular de la revisión.

Existe la forma de conocer los desplazamientos laterales que puede presentar la superestructura debido a la sollicitación sísmica que puede presentarse en el sitio en el cual esté ubicada y a las características de la estructura. Para conocer dichos valores del desplazamiento se utiliza el programa de ETABS.

En el programa se debe de realizar otra nueva combinación de carga como se ha realizado anteriormente, esta nueva combinación sirve para conocer los desplazamientos, tanto como en x como en y; estas combinaciones son:

Desplazamientos en X= DEAD+ CM+ CVa+ Q Sismo en x.

Desplazamientos en Y= DEAD+ CM+ CVa+ Q Sismo en y.

Se analiza con cada combinación en donde se debe observar los valores en las opciones de las deformaciones máximas y mínimas, en donde se elige la opción que da como resultado los desplazamientos más grandes; en el caso de los desplazamientos en X y Y se seleccionó la opción mínima.

Obteniendo los valores se prosigue con el cálculo de la distorsión angular, que se calcula con la distorsión relativa entre la altura o altura de entrepiso. La distorsión relativa se calcula con la deformación superior menos la deformación inferior de cada nivel, se obtuvieron los siguientes resultados:

DISTORSIONES X							
EJES	A	B	C	C.1	D	D.1	E
5to nivel	0.29%	0.22%	0.27%	-	-	-	-
4to nivel	0.41%	0.43%	0.41%	0.43%	-	0.43%	0.39%
3er nivel	0.55%	0.56%	0.55%	0.57%	-	0.57%	0.53%
2do nivel	0.48%	0.47%	0.45%	0.45%	-	0.43%	0.46%
1er Nivel	0.22%	0.22%	0.21%	-	0.21%	-	0.21%

Tabla 5.4.- Distorsiones en X.

Fuente: Propia

DISTORSIONES Y										
EJES	1	2	3	4	5	6	7	8	9.1	10
5to nivel	-	-	-	-	-	-	0.26%	0.26%	-	0.37%
4to nivel	0.22%	0.23%	0.22%	0.24%	0.24%	0.28%	0.31%	0.33%	0.32%	0.39%
3er nivel	0.27%	0.31%	0.30%	0.34%	0.34%	0.38%	0.38%	0.41%	0.39%	0.39%
2do nivel	-	0.31%	0.34%	0.38%	0.38%	0.40%	0.42%	0.41%	-	0.35%
1er Nivel	-	0.17%	0.17%	0.20%	0.19%	0.21%	0.19%	0.21%	-	0.20%

Tabla 5.5.- Distorsiones en Y.

Fuente: Propia.

“Para el factor de comportamiento sísmico, Q , y la distorsión límite, γ_{max} , se adoptarán los valores especificados en las tablas 4.2.1, 4.2.2. y 4.2.3, según se trate de estructuras de concreto, de acero o compuestas, o de mampostería, respectivamente. Los requisitos específicos que deben cumplirse para que una estructura pueda ser considerada como de ductilidad alta, media o baja se especifican en las normas técnicas correspondientes al material de que se trate.”
(NTC; 61: 2017)

Para dicho trabajo de investigación, Q se propuso de 2 y el γ_{max} resulta 0.015 (1.5 %), por lo tanto, los resultados obtenidos se aceptan, al ser las distorsiones máximas en X de 0.55% y en Y de 0.42%.

5.4. Propuesta de la estructura.

A pesar de que en las construcciones se lleven a cabo los lineamientos establecidos en los diversos reglamentos vigentes para la construcción, existen superestructuras que no desarrollan un comportamiento estructural adecuado ya que su respuesta puede ser afectada por redistribuciones inesperadas de cargas, colapso de pisos débiles, así como las diversas solicitaciones a las que pueda estar expuesta, destacándose el caso de los sismos.

La disipación de energía es una solución técnica ideal para controlar los elevados niveles de aceleración, desplazamiento lateral y energía demandados en estructuras, para esto se crean sistemas que ayuden a disipar dicha energía, como lo es el uso de contravientos.

Los contravientos son un sistema estructural que se utiliza para el aumento en la rigidez lateral de un edificio. Desarrolla un sistema columna fuerte - viga débil - contraviento más débil, controlando las deformaciones, creando estructuras intercambiables que se dañan de manera controlada.

En esta tesis, el modelo de la superestructura que ya existe, así como el modelo propuesto, utilizan contravientos de perfil HSS de acero A500-B (ver anexo A y B). El modelo original utiliza contravientos tipo diagonal sobre el eje dos y siete, rigidizando la superestructura en un solo sentido, como se señala en los planos a continuación:



Imagen 5.23.- Plano del modelo actual, vista sobre el eje dos.

Fuente: AutoCad.

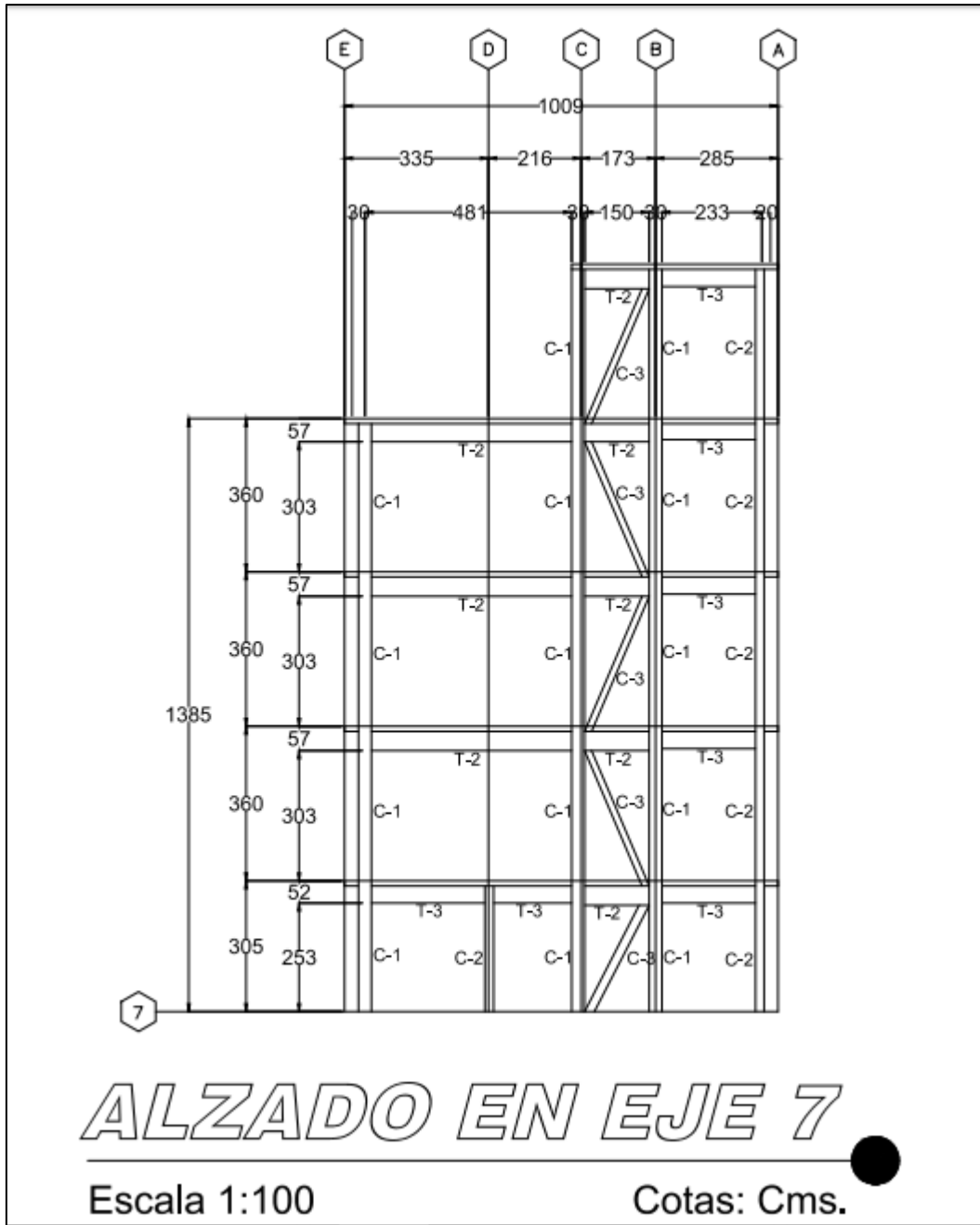


Imagen 5.24.- Plano del modelo actual, vista sobre el eje siete.

Fuente: AutoCad.

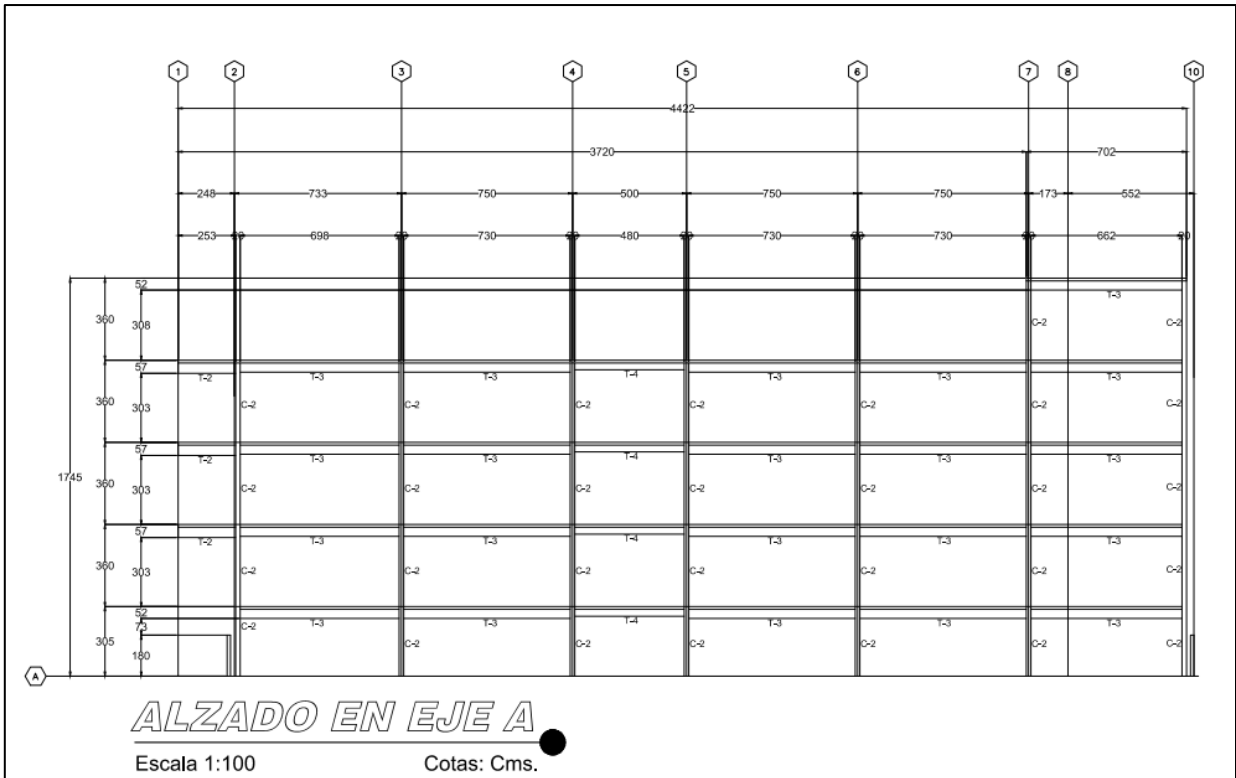


Imagen 5.25.- Plano del modelo actual, vista sobre el eje A.

Fuente: AutoCad.

Para el modelo propuesto se aplica el uso de contravientos concéntricos tipo v invertida, en donde el eje del contraviento intersecta aproximadamente con el eje de la trabe y la columna, se utilizan sobre el eje dos y siete, así como sobre los ejes A y E en donde se pueden observar los contravientos espejados para ayudar a la superestructura a rigidizarla en ambos sentidos, a su vez se implementaron contravientos tipo diagonal sobre el eje diez para complementar el equilibrio en dicha rigidez, como se muestra a continuación:

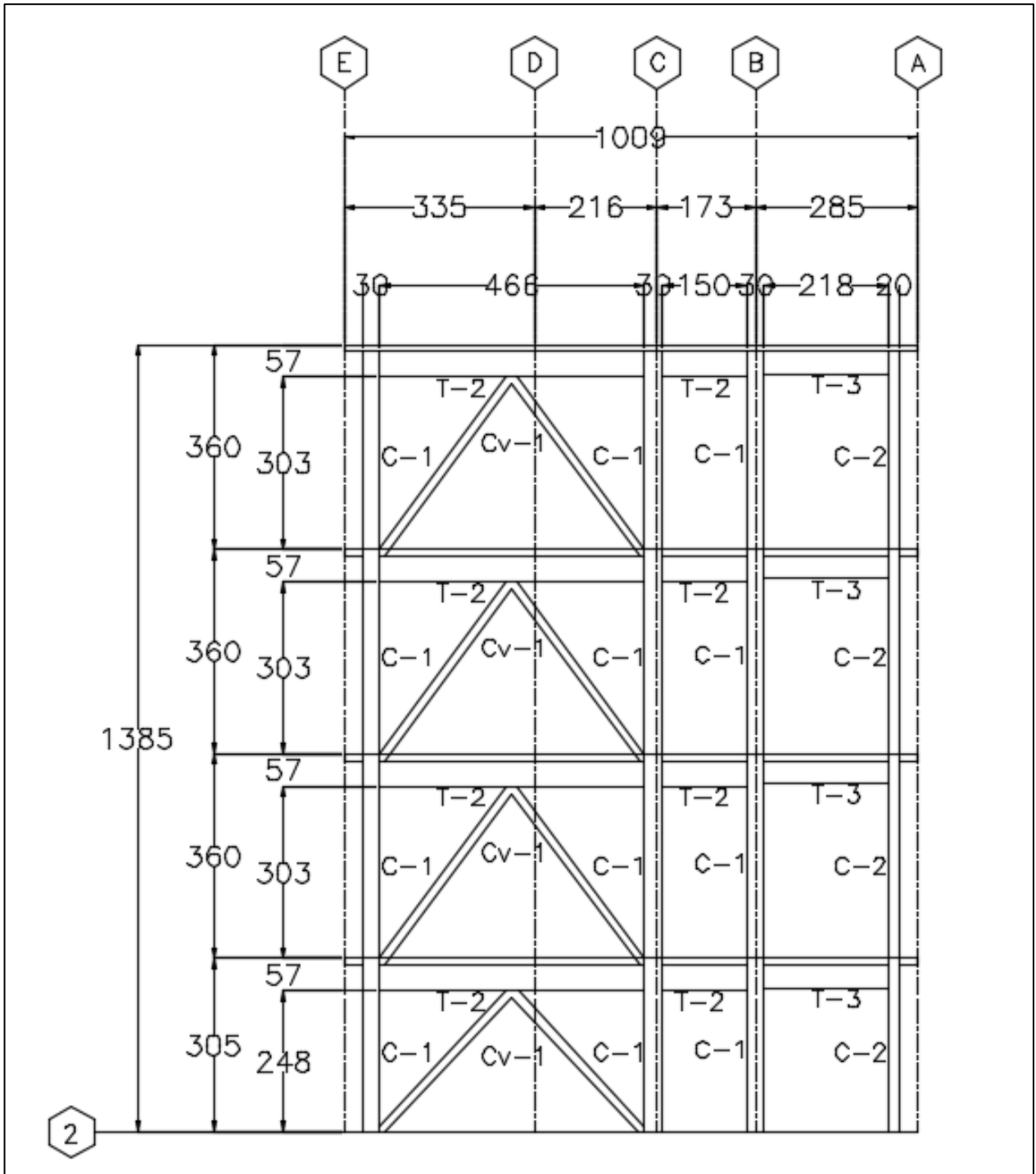


Imagen 5.26.- Alzado sobre eje dos, cotas en cm.

Fuente: AutoCad.

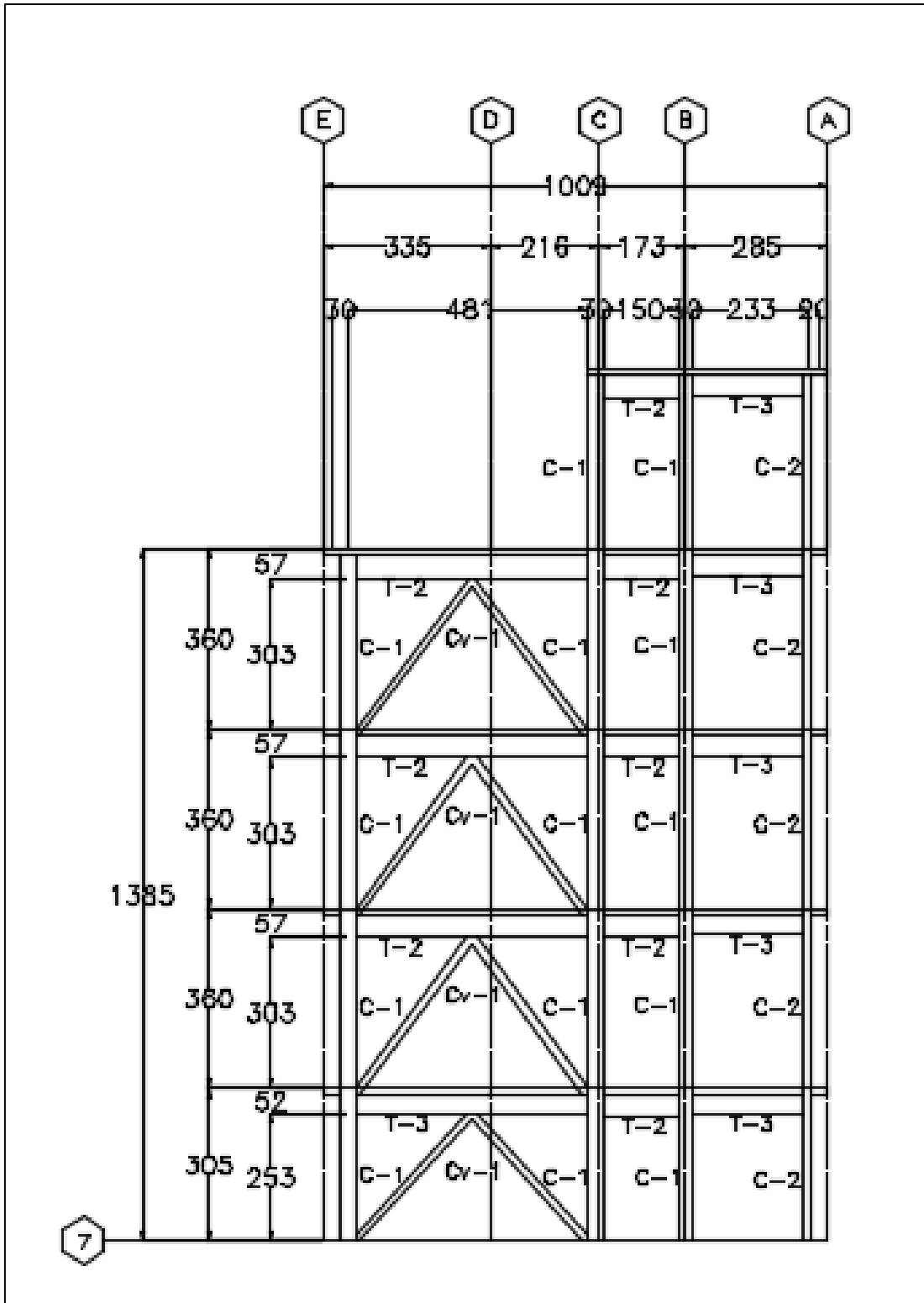


Imagen 5.27.- Alzado sobre eje siete, cotas en cm.

Fuente: AutoCad.

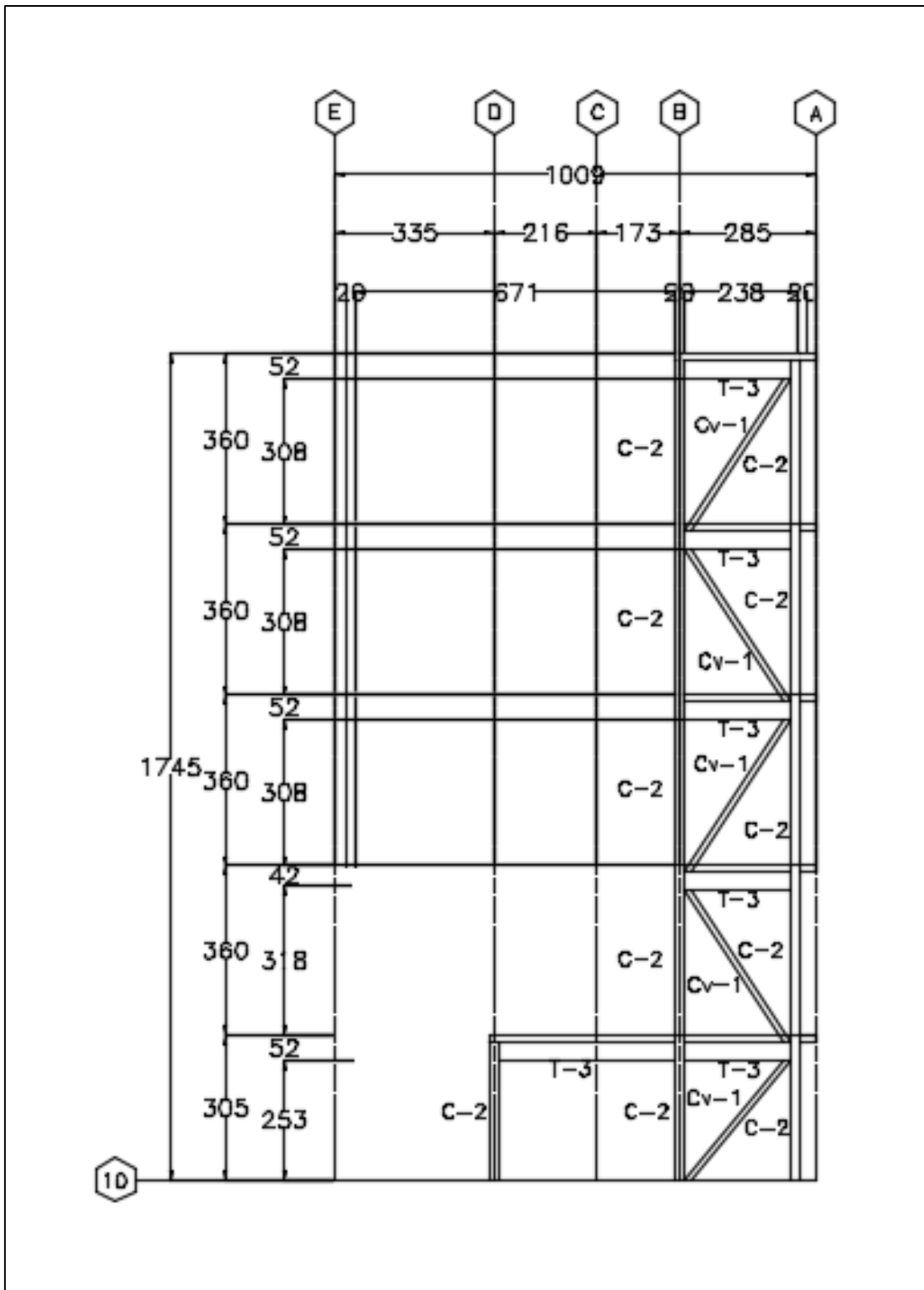


Imagen 5.28.- Alzado sobre eje diez, cotas en cm.

Fuente: AutoCad.

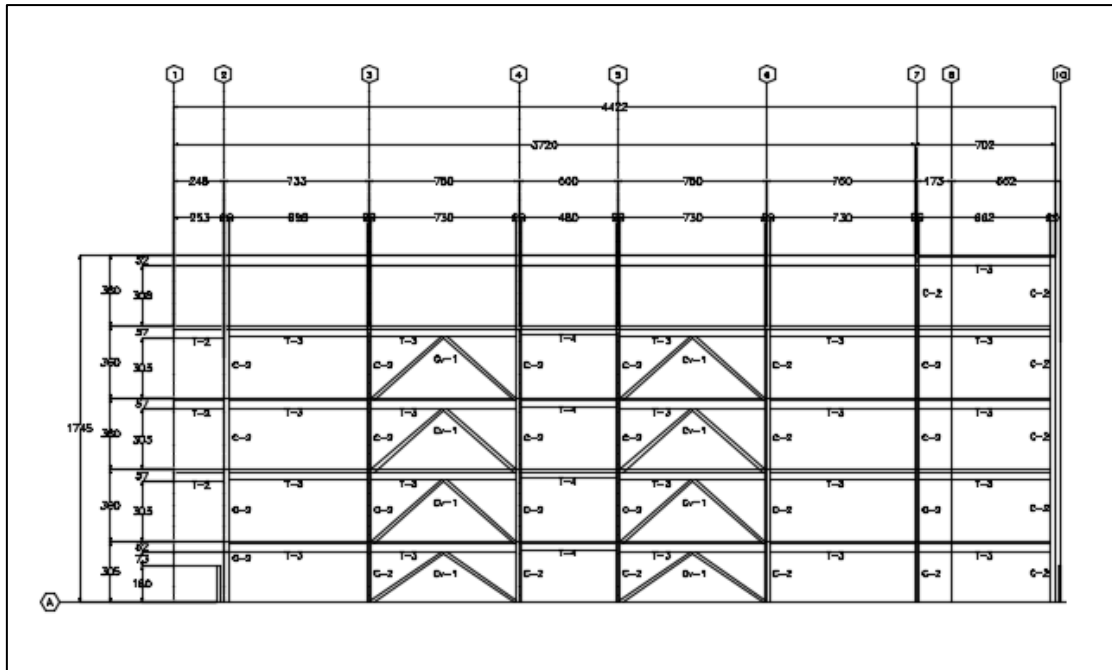


Imagen 5.29.- Alzado sobre el eje A, cotas en cm.

Fuente: AutoCad.

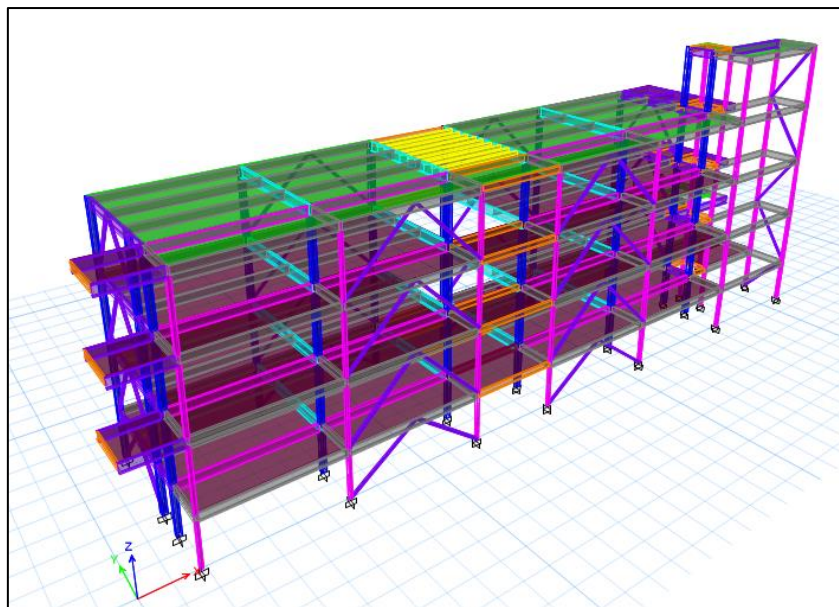


Imagen 5.30.- Modelo actual.

Fuente: ETABS.

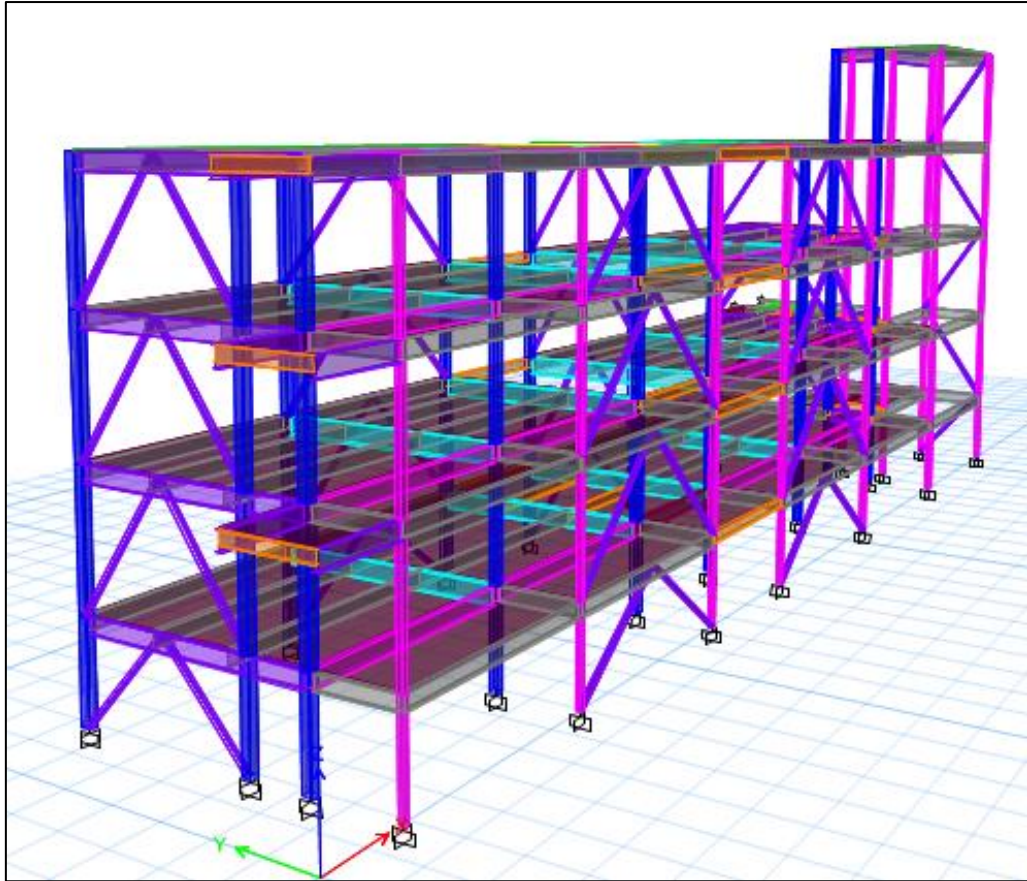


Imagen 5.31.- Modelo actual, vista 3D.

Fuente: ETABS.

5.4.1. Validación del modelo de la estructura propuesta.

Se menciona en el subtema 5.3 de esta tesis, la importancia de la aprobación del programa de ETABS como herramienta para el diseño del modelo matemático, para el modelo propuesto se realiza la validación del modelo a través de los parámetros mostrados a continuación y criterio del diseñador para comprobar la eficacia del programa con los resultados obtenidos.

Se evaluó la estructura de la misma forma en la que se evaluó la estructura existente, en el subtema 5.3 de dicha tesis, por lo cual se describirán brevemente los resultados obtenidos.

El primer parámetro a evaluar son las deformaciones verticales, en donde el programa ETABS por medio de coordenadas ubica el valor máximo de dichas deformaciones, dando como resultado 1.57 cm en el extremo de la trabe en donde intersectan los ejes D-1 y 9-1 en el cuarto nivel. Se recuerda que no existe para este parámetro un valor fijo en el cual se considera aceptable, tal que para aceptar el resultado es a criterio del ingeniero, en dicho trabajo se considera aceptable.

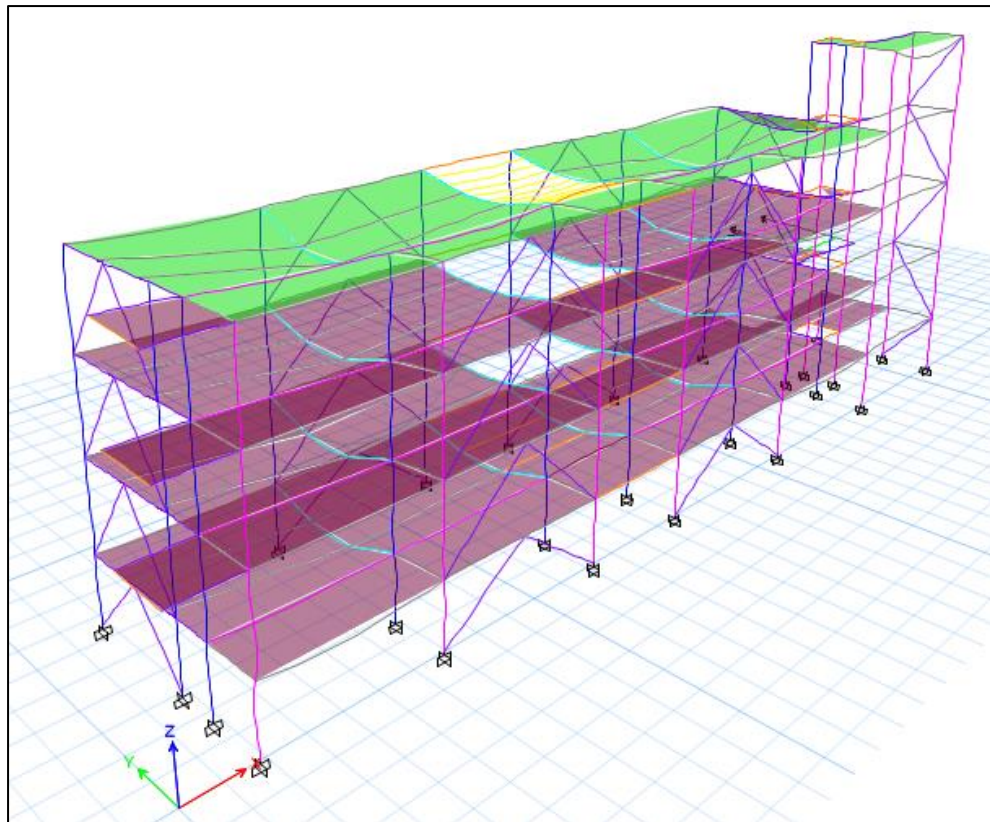


Imagen 5.32.- Deformaciones con CM+CV.

Fuente: ETABS.

El siguiente parámetro son los valores del análisis modal, en donde el periodo dominante da como resultado 0.709 s. De acuerdo con la norma Venezolana, el valor del periodo de vibración aproximado da como resultado 1.09 s, siendo este mayor a 0.709 por lo tanto, se considera aceptable.

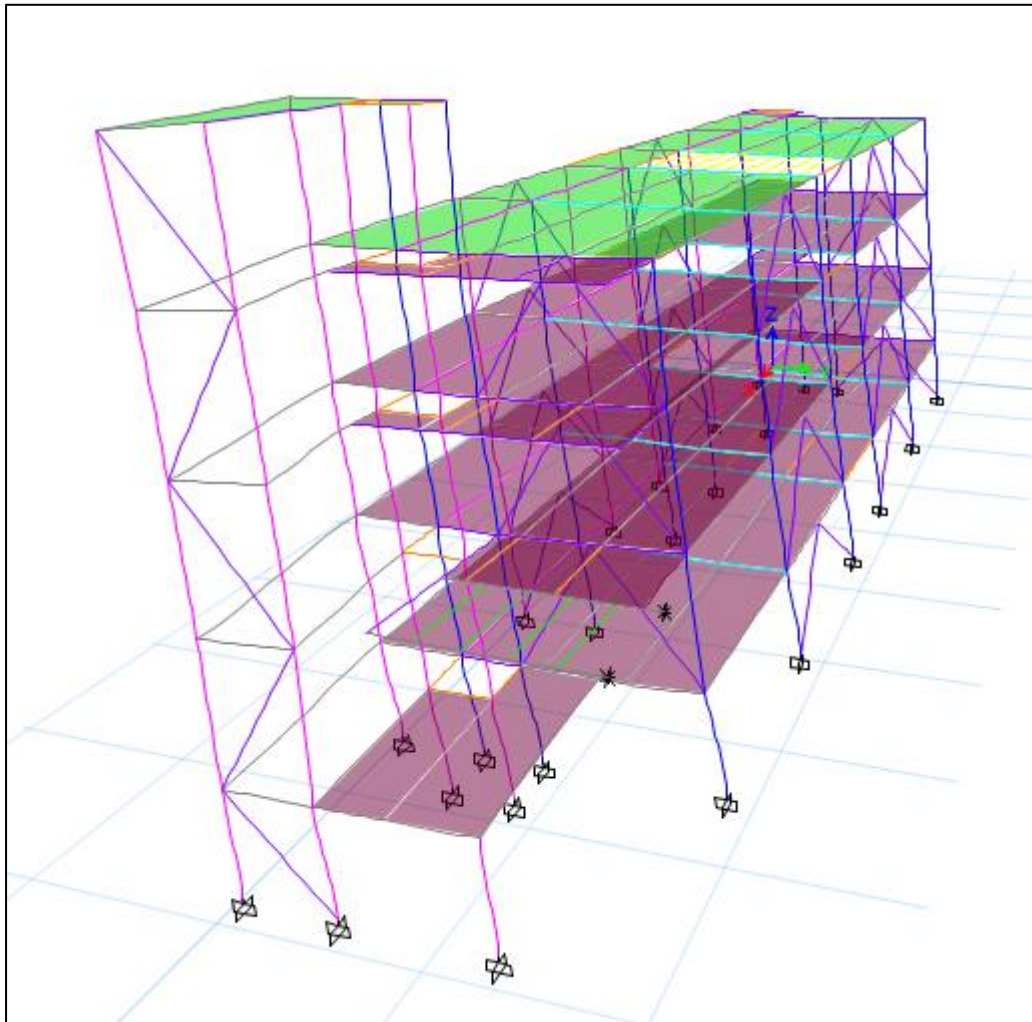


Imagen 5.33.- Periodo de vibración dominante.

Fuente: ETABS.

Se prosigue con el factor de participación de masas, el cual la sumatoria en X y Y deben pasar el 95% para considerarse aceptable. En dicho estudio la sumatoria en X, se obtiene un valor de 94.19%, siendo considerado como 95%, por lo que se considera aceptable; en el caso de Y, se registra un valor de 98.71%, por lo tanto, es aceptable

The image shows a screenshot of the ETABS software interface. At the top, there is a title bar that reads "Modal Participating Mass Ratios". Below the title bar is a navigation bar with a left arrow, a right arrow, and the text "1 de 12", followed by "Reload" and "Apply" buttons. The main part of the screenshot is a table with the following columns: Case, Mode, Period sec, UX, UY, UZ, Sum UX, and Sum UY. The table contains 12 rows of data, all labeled "Modal" in the Mode column. The UX and UY columns show the mass participation ratios for each mode, and the Sum UX and Sum UY columns show the cumulative ratios.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	Sum UX	Sum UY
Modal	1	0.709	0.0002	0.8078	0	0.0002	0.8078
Modal	2	0.497	0.2058	0.0104	0	0.206	0.8182
Modal	3	0.455	0.5034	0.0035	0	0.7094	0.8217
Modal	4	0.429	0.0402	0.0037	0	0.7496	0.8255
Modal	5	0.312	0.0433	0.0003	0	0.7928	0.8258
Modal	6	0.266	0.0009	0.1066	0	0.7937	0.9324
Modal	7	0.214	0.0003	0.0074	0	0.794	0.9397
Modal	8	0.194	3.187E-06	0.0001	0	0.794	0.9398
Modal	9	0.179	0.0001	0.0271	0	0.7941	0.9669
Modal	10	0.161	0.0737	0.0033	0	0.8678	0.9702
Modal	11	0.158	0.0739	0.0029	0	0.9417	0.9731
Modal	12	0.147	0.0002	0.0141	0	0.9419	0.9871

Imagen 5.34.- Factor de participación de masas.

Fuente: ETABS.

5.4.2. Revisión de la estructura propuesta.

Aprobada la validación, se prosigue con la revisión de los elementos estructurales así como de las distorsiones angulares de la estructura propuesta, dichos resultados se presentan en los subtemas a continuación.

5.4.2.1. Revisión de los elementos estructurales.

Se realizó el cálculo de elementos de acero en el programa ETABS, en donde la superestructura trabajara como OMF (Ordinary Moment Frame) cuya traducción es Marcos de Momento Ordinario, además de seleccionar las combinaciones de cargas de diseño y dividir las en combinaciones de carga y combinaciones de deflexión.

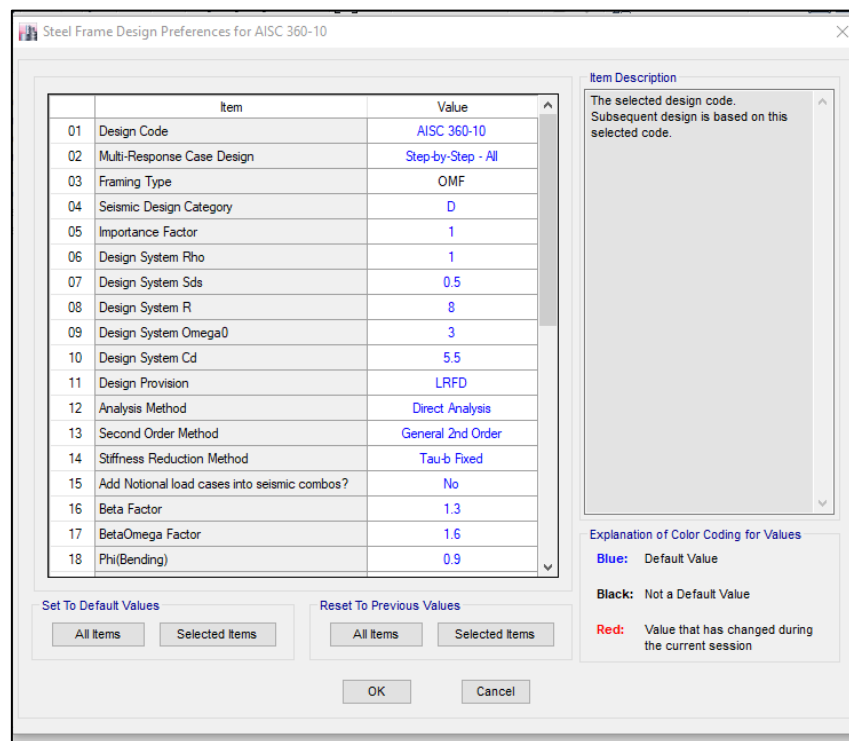


Imagen 5.35.- Preferencias de diseño de marcos de acero.

Fuente: ETABS.

Se procede a realizar el análisis y diseño de todos los elementos estructurales que actúan en la superestructura como se ha explicado en el subtema 5.3.1.1 de la presente tesis, en donde se revisa la capacidad en porcentaje del elemento que está trabajando.

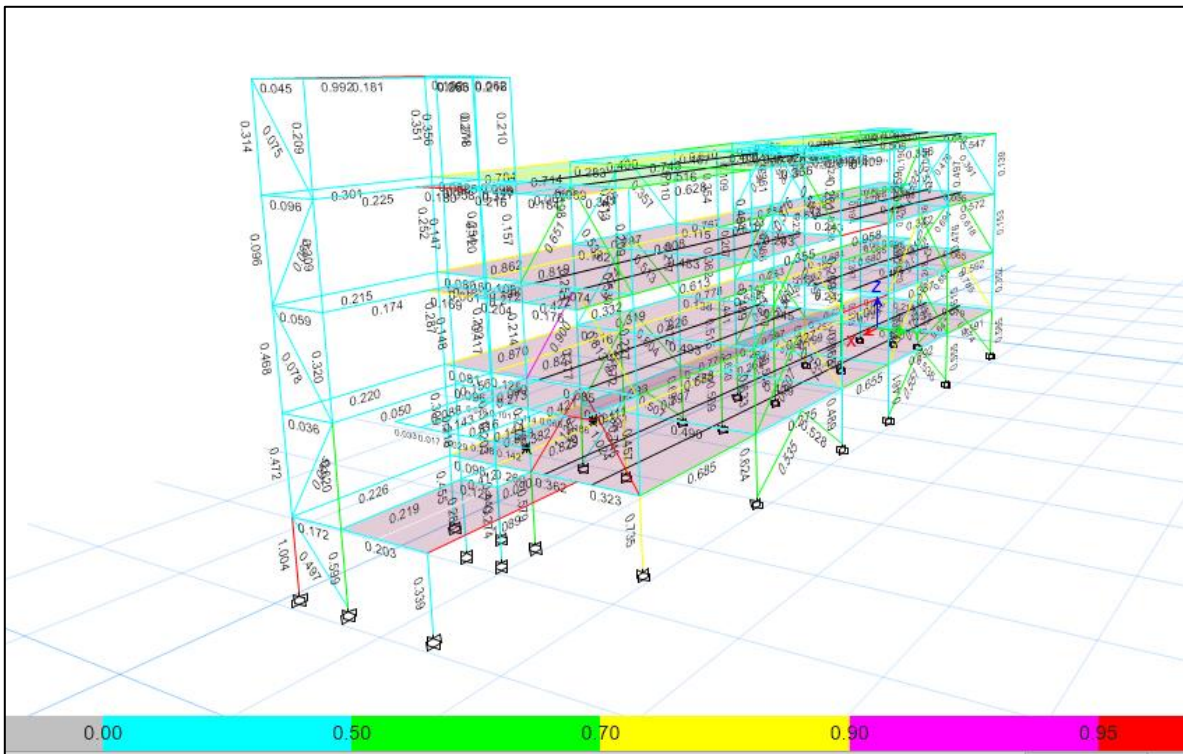


Imagen 5.36.- Valores de diseño de los elementos estructurales.

Fuente: ETABS.

Para el análisis de traveses se consideraron los diagramas de momento arrojados por el programa, siendo la combinación de F.C (Cv + Cm) la de valores más altos en este esfuerzo mecánico.

Para la propuesta se realizó el análisis usando el mismo método de diseño de elementos en flexión con las Normas Técnicas Complementarias. Se propuso el análisis de los mismos elementos del modelo anterior mostrados en la siguiente imagen, en donde se ha incrementado el peralte en ambos elementos, siendo para T-3 que se ubica en el eje B una sección T-2 y para T-4 ubicado en el eje E una sección T-3.



Imagen 5.37.- Vista en planta del segundo nivel mostrando los valores de diseño de los elementos estructurales.

Fuente: ETABS.

Se puede observar que los valores obtenidos de los elementos que están trabajando se consideran aceptables dentro del rango que maneja el programa ETABS, por lo que no solo en dicho trabajo de investigación se analizarán los elementos desfavorables obtenidos de la revisión de la estructura original, si no los elementos desfavorables del modelo propuesto que marque el programa ETBAS.

El elemento CV-1 ubicado sobre el eje 2, entre el eje C y Dc, en el primer nivel, como se muestra en la siguiente imagen, es el elemento con mayor valor en su capacidad de trabajo de toda la estructura, cabe destacar que se localiza dentro del rango normal manejado por dicho programa.

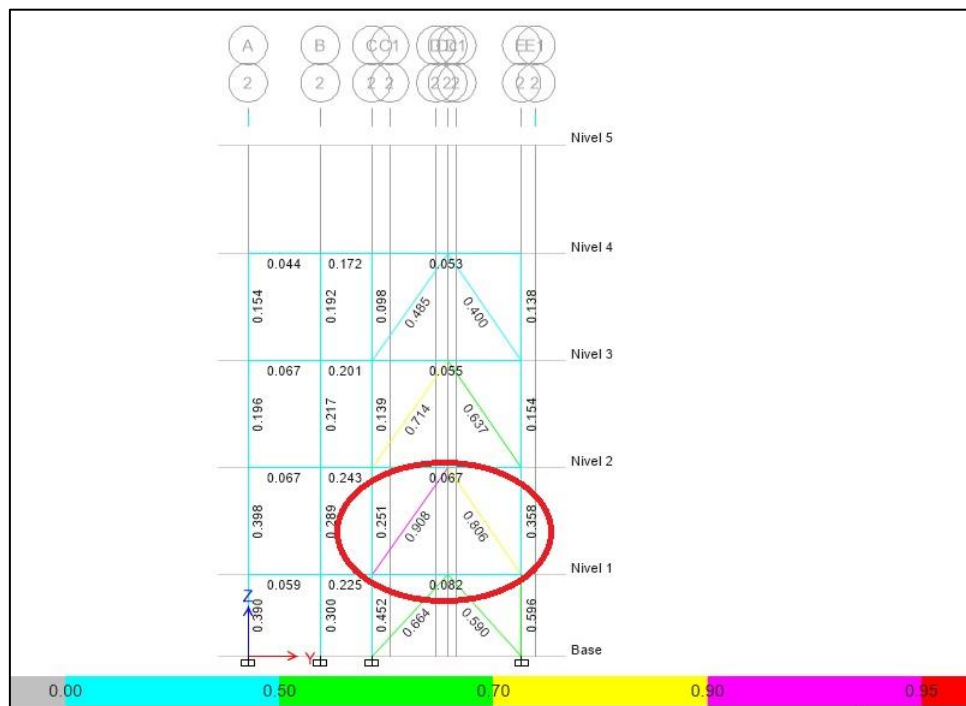


Imagen 5.38.- Vista en planta del segundo nivel mostrando los valores de la capacidad de trabajo de los elementos estructurales.

Fuente: ETABS.

A continuación, se muestran los diagramas de cortante y de momento de los elementos T-2, T-3 y Cv-1, prosiguiendo con su revisión.

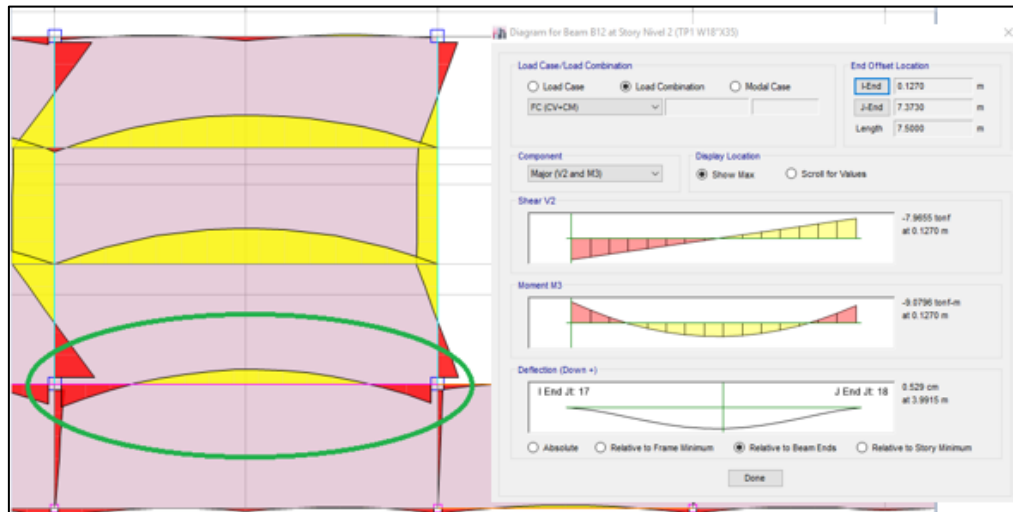


Imagen 5.39.- Diagrama de momento de T-2.

Fuente: ETABS.

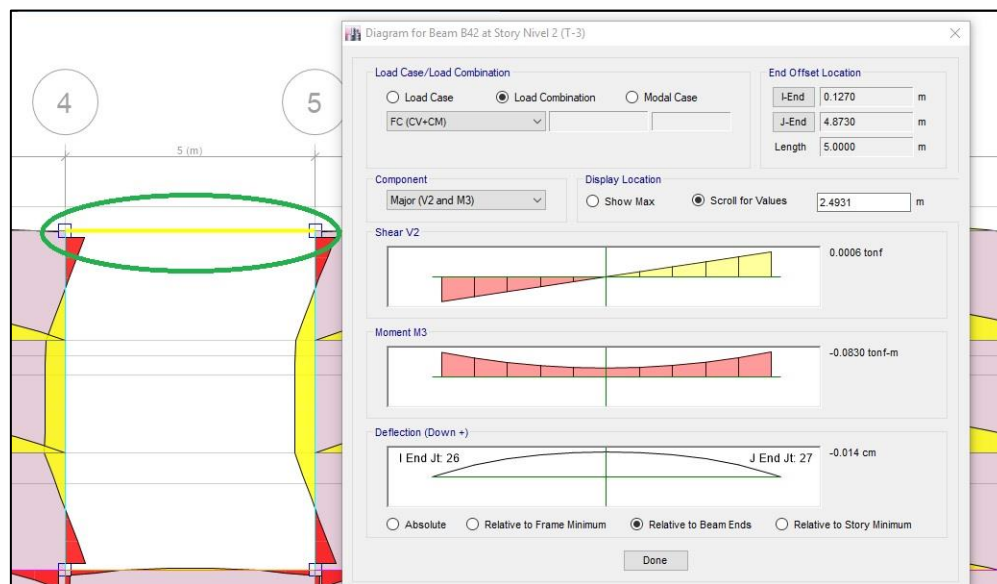


Imagen 5.40.- Diagrama de momento de T-3.

Fuente: ETABS.

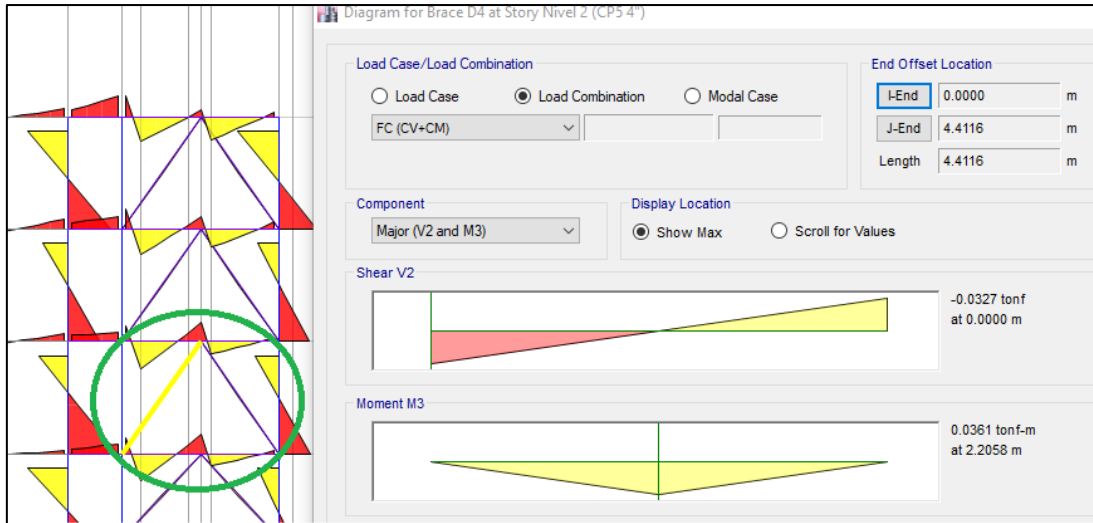


Imagen 5.41.- Diagrama de momento de Cv-1.

Fuente: ETABS.

Como se mencionó con anterioridad, ETABS calcula el Momento último (M_u) al multiplicar el momento positivo mayor actuante en el perfil por un factor de carga de 1.4. Mientras que el Momento resistente (M_R o ϕM_n) lo calcula dependiendo de las características de la sección y del material.

Los valores obtenidos mediante el diseño en el programa, resulto der para T-2 siendo este de 0.832, para T-3 un valor de 0.322 y para Cv-1 de 0.908, concluyéndose que los elementos en cuestión trabajan al 83-87%, 32-35% y 90% de su capacidad. Asimismo, la revisión de los demás elementos estructurales de este tipo se realizó de la misma manera.

5.4.2.2. Distorsión angular del modelo propuesto.

Las distorsiones de este subtema se evalúan de la misma forma de la que se habló en el subtema 5.3.2 de dicha tesis. Para la estructura propuesta da como resultado los desplazamientos más grandes; en el caso de los desplazamientos para X y Y se seleccionó la opción mínima. Después se prosigue con el cálculo de distorsión angular donde se obtuvieron los siguientes resultados.

DISTORSIONES X							
EJES	A	B	C	C.1	D	D.1	E
5to nivel	0.57%	0.41%	0.46%	-	-	-	-
4to nivel	0.09%	0.10%	0.10%	0.10%	-	0.10%	0.09%
3er nivel	0.12%	0.12%	0.12%	0.13%	-	0.13%	0.12%
2do nivel	0.12%	0.12%	0.12%	0.12%	-	0.12%	0.13%
1er Nivel	0.09%	0.09%	0.09%	-	0.09%	-	0.10%

Tabla 5.6.- Distorsiones en X.

Fuente: Propia

DISTORSIONES Y										
EJES	1	2	3	4	5	6	7	8	9.1	10
5to nivel	-	-	-	-	-	-	0.13%	0.11%	-	0.22%
4to nivel	0.14%	0.12%	0.16%	0.15%	0.17%	0.17%	0.19%	0.18%	0.19%	0.22%
3er nivel	0.20%	0.18%	0.21%	0.22%	0.23%	0.24%	0.25%	0.25%	0.26%	0.18%
2do nivel	-	0.21%	0.39%	0.26%	0.28%	0.25%	0.24%	0.23%	-	0.13%
1er Nivel	-	0.14%	0.03%	0.24%	0.28%	0.31%	0.38%	0.36%	-	0.23%

Tabla 5.7.- Distorsiones en Y.

Fuente: Propia

Para el factor de comportamiento sísmico, Q, y la distorsión límite, γ_{max} , para dicho trabajo de investigación, Q da como resultado 2 y el γ_{max} resulta 0.015 (1.5%), por lo tanto con los resultados obtenidos, se aceptan.

5.5. Comparativa estructura original versus estructura propuesta.

A continuación, se hará la comparativa de los parámetros de seguridad y comportamiento obtenidos en la estructura original contra la estructura propuesta.

5.5.1. Periodo fundamental.

En la estructura original arrojé un valor del periodo dominante de 1.114 s, mientras que en la estructura propuesta se obtuvo un resultado de 0.709 s, por lo que se deduce que la estructura original, al ser mayor presenta un comportamiento más flexible que la estructura propuesta.

5.5.2. Resistencias de elementos críticos.

Se analizó la resistencia de cada elemento de la estructura original así como de la estructura propuesta, buscando el elemento más desfavorable, recordando que si es inferior a 1.00 significa que las cargas que recibe son inferiores a las que resiste al 100% de su trabajo normal, si el valor por el contrario excede el 1.00 significa que el elemento está trabajando por encima de su capacidad.

Los porcentajes que se muestran en la siguiente tabla, son los porcentajes de los elementos más escasos del modelo original, donde, en el modelo propuesto se buscaron estos mismos elementos para realizar la comparación.

Columna	Sección		Porcentaje de Resistencia	
	Revisión	Propuesta	Revisión	Propuesta
C-1	HSS 12"X1 2"X 3/8"	HSS 10"X 10"X 3/8"	66.60%	44.40%
C-2	HSS 8"X 8"X 1/4"	HSS 6"X 6"X 1/4"	50.60%	26.70%

Tabla 5.8.- Comparación de resistencias en columnas escasas del modelo original.

Fuente: Propia

Trabe	Sección		Porcentaje de Resistencia	
	Revisión	Propuesta	Revisión	Propuesta
T-1	W 21"X 6 1/2"X 65.5 kg/m	W 21"X 6 1/2"X 65.5 kg/m	46.40%	51.60%
T-2	W 18"X 6"X 52.10 kg/m	W 18"X 6"X 52.10 kg/m	34.90%	7.90%
T-3	W 16"X 5 1/2"X 38.7 kg/m	W 18"X 6"X 52.10 kg/m	135.50%	83.20%
T-4	W 12"X 4"X 20.8 kg/m	W 16"X 5 1/2"X 38.7 kg/m	155%	32.20%

Tabla 5.9.- Comparación de resistencias en trabes escasas del modelo original

Fuente: Propia

En el análisis de porcentaje de resistencia revisión-propuesta, muestra que aun cuando se propusieron perfiles de un dimensionamiento menor en las columnas, son mejor porcentaje de la capacidad en la que trabaja el elemento que la del modelo original. Para las trabes, las primeras dos secciones son del mismo tipo en ambos modelos, sin embargo para las últimas dos se modificaron aumentando la sección para incrementar la resistencia, obteniendo como mayoría un mejor porcentaje en el modelo propuesto ante el original.

5.5.3. Desplazamientos máximos.

De acuerdo con el análisis de las gráficas de desplazamientos, obtenidas en el software ETABS para ambos modelos, se encontró que para la estructura original, los desplazamientos laterales máximos en X son 6.7747 cm y 6.8710 cm; para Y los valores son 5.9373 cm y 6.0152 cm ; positivo y negativo respectivamente para X y Y.

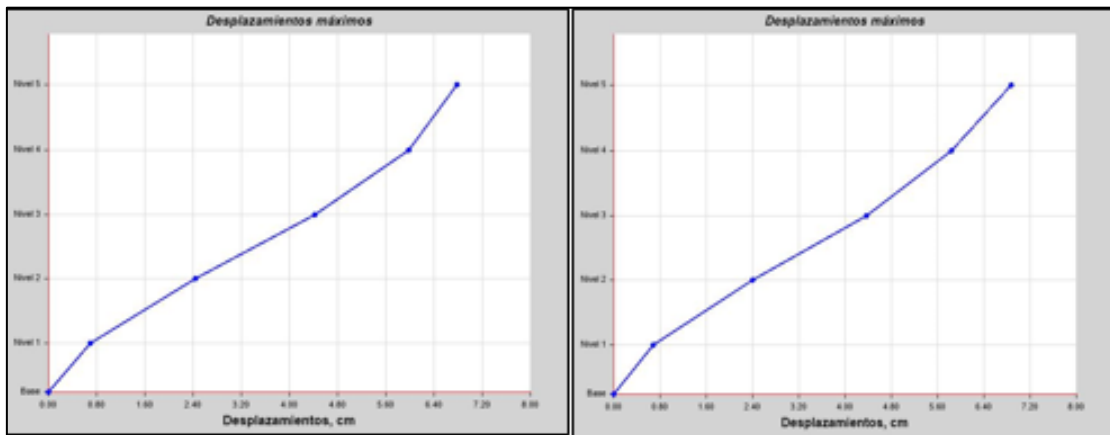


Imagen 5.42.- Desplazamientos laterales máximos en X.

Fuente: ETABS.

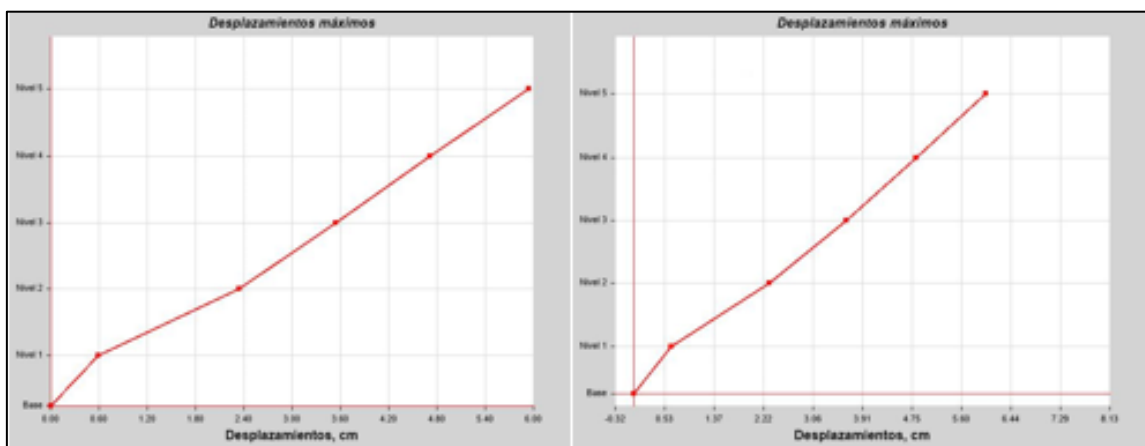


Imagen 5.43.- Desplazamientos laterales máximos en Y.

Fuente: ETABS.

Para la estructura propuesta, los desplazamientos laterales máximos en X son 4.1137 cm y 4.0267cm; para Y los valores son 3.9474 cm y 4.039 cm; positivo y negativo respectivamente para X y Y.

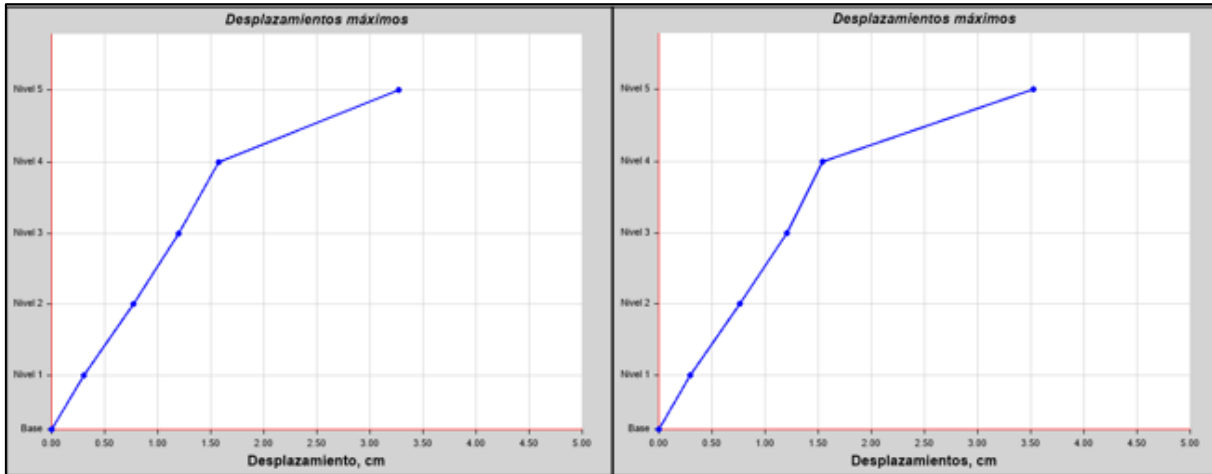


Imagen 5.44.- Desplazamientos laterales máximos positivos y negativos en X.

Fuente: ETABS.

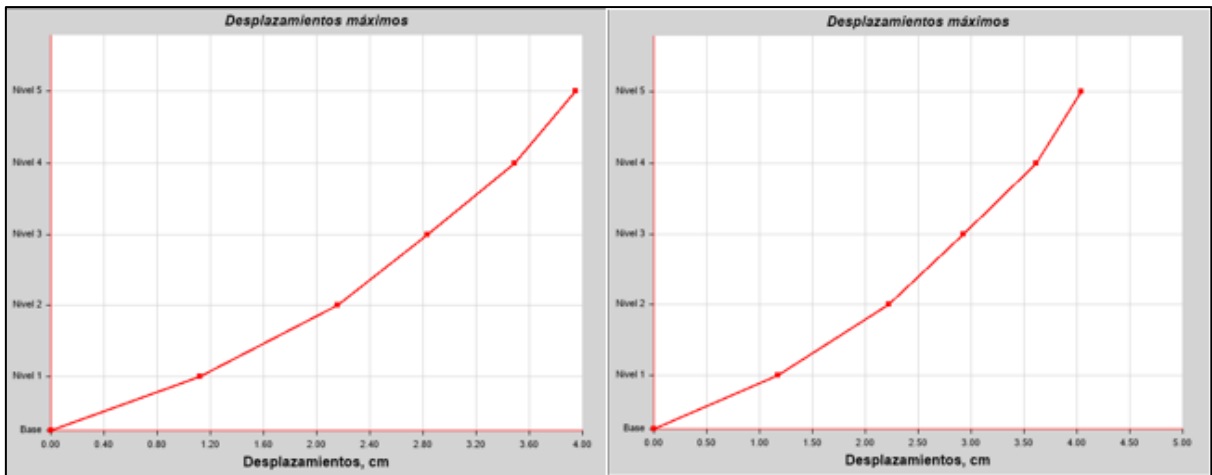


Imagen 5.45.- Desplazamientos laterales máximos en Y.

Fuente: ETABS.

5.5.4. Distorsiones angulares máximas.

De acuerdo a las gráficas de distorsiones obtenidas del software ETABS, se realiza el análisis, en donde se elige el valor mayor tanto para X como para Y en ambos modelos, para realizar la comparación entre ambos modelos y el 0.015 (1.5%) establecido en las NTC como se muestra en la siguiente tabla.

En la estructura original, los valores de las distorsiones respectivas a X y Y son igual a .63% y .43%; para la estructura propuesta las distorsiones dieron valores de .58% y .41%. Por lo que en ambas estructuras están por debajo del nivel establecido por las NTC.

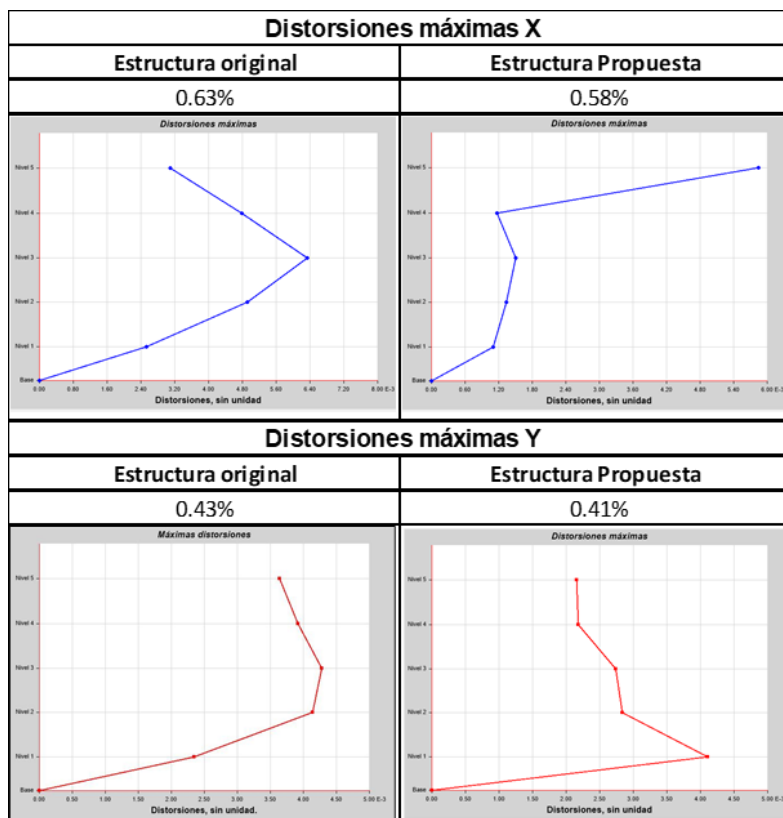


Imagen 5.46.- Desplazamientos laterales máximos en Y.

Fuente: ETABS

5.5.5. Peso de los elementos estructurales.

Se realizó la cuantificación del peso total de ambas estructuras, en donde se calcula el peso de cada elemento estructural que las conforman, se prosigue con la sumatoria de todos elementos obteniendo los siguientes resultados que se muestran en la siguiente tabla:

Peso de la estructura			
Revisión		Propuesta	
67.419	ton	67.615	ton
Densidad de la estructura			
Revisión		Propuesta	
53.944	Kg/m ²	54.101	Kg/m ²

Tabla 5.10. Comparación de pesos y densidades entre ambos modelos.

Fuente: Propia

Pese a que el peso que aumenta el modelo propuesto al modelo original es insignificante, se resarcó la deficiencia de algunos elementos estructurales, en donde con anterioridad se demostró cumplir con los parámetros necesarios para considerar una estructura estable.

Cabe mencionar que el modelo propuesto, compuesto de perfiles estructurales de menores dimensiones al modelo original, mejoró los desplazamientos laterales, que a su vez impactan en las distorsiones, así como, el periodo fundamental de la estructura, provocado por una estructura más rígida, cumpliendo así la propuesta de los contravientos como elementos estructurales.

CONCLUSIÓN

En la presente tesis se tuvo como objetivo general, revisar, analizar y diseñar la superestructura de una edificación de acero de cuatro niveles mediante factores de cargas sísmicas actuantes y su respuesta con la incorporación de elementos estructurales, que satisfaga las necesidades y cumpla la función para la cual fue proyectada.

Como se demostró en los capítulos anteriores, a través del software ETABS y la aplicación de los reglamentos que rigen en México, fue posible la revisión, análisis tanto de la estructura original como de la propuesta, que a su vez, permitió su modelado con los nuevos elementos estructurales cumpliendo su principal función que es ser una estructura estable ante las diversas sollicitaciones.

Para entender conceptos claves y comprender lo realizado en el trabajo de investigación, fue necesario dar a conocer los conceptos de análisis y diseño estructural, donde el capítulo uno; define como análisis estructural el conjunto de actividades que llevan a la determinación de la respuesta de la estructura ante las diferentes acciones exteriores que puedan afectarla; así como diseño estructural a las actividades que desarrolla el proyectista para determinar la forma, dimensionamiento y características detalladas de una estructura.

Para el buen análisis y diseño, fue necesario revisar la estructura de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas, ya que establece los parámetros que se ocupan respetar para catalogar a una estructura estable.

El resultado de la revisión de la estructura original con dicha norma, obtuvo la existencia de elementos escasos, al obtener del análisis de la resistencia de los elementos críticos un porcentaje mayor del 100% que es límite de la capacidad de trabajo para un elemento, siendo en las trabes de 135.50% y 155.0%, por lo que en la propuesta se mejoró su capacidad del trabajo aumentando el peralte en las secciones necesitadas, obteniendo porcentajes aceptables de 83.20% y 32.20% de resistencia; las columnas fueron consideradas con porcentaje aceptable en ambos modelos, por lo que no fue necesaria la comparativa.

Anteriormente se expuso la importancia del análisis en la estructura bajo los tipos de solicitaciones que se puede presentar ante una estructura, dependiendo de la zona en la que se encuentre, en el caso de dicho trabajo de investigación, se ubica en el estado de Michoacán siendo altamente zona sísmica por lo que es necesario considerar los efectos del sismo.

El primer factor obtenido de dicho análisis, se denomina como periodo fundamental, en donde el periodo de vibración resultante de las fuerzas sísmicas es de 1.11 s en la revisión y 0.71 s en la propuesta, comparando los resultados con una medida considerada aceptable de 1.09 s, se consideran con valores aceptables ambos modelos.

El segundo factor, considerado más importante que las fuerzas sísmicas, se le conocen como distorsiones angulares, ya que permite conocer el porcentaje de daño que existirá en la estructura debido a los desplazamientos durante la existencia del sismo, de acuerdo en la NTC la distorsión máxima aceptable para esta edificación es

de 1.5% por lo que en la revisión se obtuvieron 0.63% y 0.43% y en la propuesta 0.58% y 0.41% por lo que se consideran en ambos modelos porcentajes aceptables.

Para la obtención de los resultados anteriormente mencionados, fue necesario implementar nuevos elementos estructurales al diseño existente, tal es el caso de los contravientos, utilizados para rigidizar la estructura ayudando a disminuir el periodo fundamental, las distorsiones, así como crear un sistema en donde se controlen las deformaciones que se tendrán trabajando como un sistema funcionando como contraviento-trabe-columna.

En el caso del peso total de la estructura, la revisión resulto ser de 67.42 ton y en la propuesta 67.62 ton, lo que indica una diferencia menor en comparación con las mejoras obtenidas, expuestas anteriormente, con una mayor implementación de contravientos y elección de otro tipo de sección para mejorar la escasez existente en las trabes.

La comparativa entre ambos modelos, representa la información de una forma más clara, al exponer las diferentes características que existen entre ambos modelos, logrando los diferentes objetivos planteados en dicha tesis.

Con el presente trabajo de investigación se pretende dar respuesta a la pregunta: ¿Cuál es la opción de estructuración óptima en la superestructura de acero que satisfaga los objetivos del diseño estructural?, así como también se desea dar solución a las preguntas ¿Qué solicitaciones afectan mayormente a un edificio? ¿Cuál es la importancia de un buen análisis y diseño?

Se menciona en dicha tesis que la estructuración óptima para las superestructuras es la utilización de los reglamentos establecidos en la localidad que se desea construir y a su vez que el proyectista tenga un buen criterio de diseño, en donde siempre se busque lo mejor tanto para el proyecto como los involucrados con él.

A su vez también se menciona que existen diferentes tipos de solicitudes a las que pueda estar expuesta una edificación, dependiendo principalmente de la zona en que se encuentre, en el caso de la edificación de dicho trabajo de investigación, los sismos son las solicitudes que más afectan a este tipo de construcción. Las solicitudes son un ejemplo de los diversos factores importantes ha de considerar en un buen análisis y diseño estructural, más todo lo expuesto en la presente tesis para que la estructura cumpla la principal función para la cual fue proyectada.

Gracias a todos los puntos mencionados anteriormente, se llegó a la conclusión la importancia del cumplimiento de los respectivos reglamentos para cada entidad, como el buen criterio del ingeniero para lograr un buen análisis y diseño estructural, así como la implementación de contravientos en estructuras de acero para obtener una mejor respuesta ante casos sísmicos.

BIBLIOGRAFÍA

Ander-Egg, Ezequiel. (1993)

Técnicas de investigación social.

Ed. Magisterio del río de la plata. Argentina.

Arnal Simón, Luis y Betancourt Suárez, Max. (2015)

Reglamento de construcciones para el Distrito Federal.

Ed. Trillas. México.

Bazán Zurita, Enrique y Meli Piralla, Roberto. (2010)

Manual de diseño sísmico de edificios.

Ed. Limusa. México.

Fratelli, María Graciela. (2003)

Diseño de estructuras metálicas. Estados límites. LRFD.

Ediciones Unive. Venezuela.

Frederick S. Merritt y Colaboradores. (2008)

Manual del Ingeniero Civil.

Ed. McGraw-Hill Interamericana.

Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (2017)

Normas Técnicas Complementarias para el Diseño por Sismo.

México.

Gaceta Oficial de la Ciudad de México. (2017)

Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Construcción de Estructuras de Acero.

México.

Grinnell Jr., Richard M. (1997)

Social Work research & evaluation: Quantitative and Qualitative approaches.

E.E Peacock Publishers. Estados Unidos.

Hernández Sampieri, Roberto y colaboradores. (2014)

Metodología de la investigación.

Ed. McGraw-Hill. México.

Hibbeler, R.C. (2012)

Análisis estructural.

Pearson Educación. México.

Kassimali, Aslam. (2015)

Análisis estructural.

Ed. Cengage Learning. México.

McCormac, Jack C. y Csernak, Stephen F. (2012)

Diseño de estructuras de acero.

Ed. Alfaomega. México.

Meli Piralla, Roberto. (2002)

Diseño Estructural.

Ed. Limusa. México.

Mendieta Alatorre, Ángeles. (1992)

Métodos de investigación y manual académico.

Editorial Porrúa. México.

Merritt, Frederick S.; Loftin, M. Kent y Ricketts, Jonathan T. (2008)

Manual del ingeniero civil.

McGraw Hill. México.

Muñoz Muñoz, Harold Alberto. (2012)

Manual del acero Gerdau Diaco para construcciones sismo resistentes.

Gerdau Diaco. México.

Nelson, James K. y McCormac Jack C. (2006)

Análisis de estructuras. Métodos clásico y matricial.

Ed. Alfaomega. México.

Rochel Awad, Roberto. (2012)

Análisis y diseño sísmico de edificios.

Fondo Editorial Universidad EAFIT. Colombia.

Suárez Riestra, Félix L. (2013)

Equilibrio, Resistencia y Estabilidad.

Universidade da Coruña. España

Tamayo y Tamayo, Mario. (2004)

El proceso de la investigación científica.

Ed. Limusa. México.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

Aroquipa Velasquez, Hector. (2012)

Estructuración y predimensionamiento.

Recuperado de:

https://www.academia.edu/9065684/ESTRUCTURACIÓN_Y_PREDIMENSIONAMIENTO_edificios

Díaz, Joseanys y Ortega, Hingrith. (2016)

Revista Historia de la Tecnología: El acero

Recuperado de:

https://issuu.com/joseanys/docs/historia_acero__1__

García A, Manuel y colaboradores. (S/F)

Diseño de estructuras de acero utilizando contraventeos excéntricos

Recuperado de:

http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_11/56.PDF

Tapía Hernández, Edgar (S/F)

Uso de contravientos de acero

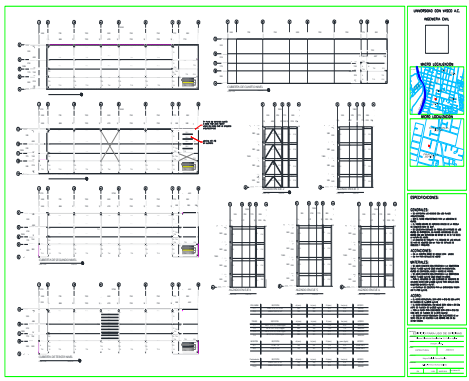
Recuperado de:

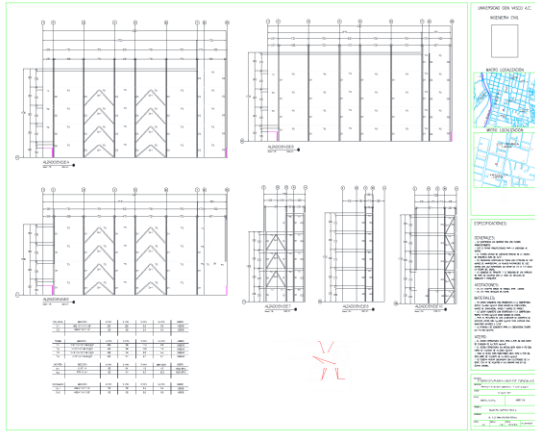
<https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/manual-de-contravientos.pdf>

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B





UNIVERSIDAD DEL VESUVIO S.A.

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS

PROYECTO DE OBRAS